



**Tiago Emanuel
Magalhães Teixeira**

**Métodos estatísticos para melhoria da qualidade:
Caso de estudo**



**Tiago Emanuel
Magalhães Teixeira**

**Métodos estatísticos para melhoria da qualidade:
Caso de estudo**

Relatório de projecto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica da Doutora Helena Maria Pereira Pinto Dourado e Alvelos, professora auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho à minha mãe, por todo o carinho que me concedeu.
E ao meu avô por ser o meu anjo da guarda.

o júri

presidente

Professora Doutora Maria João Machado Pires da Rosa
Professora auxiliar da Universidade de Aveiro

Professor Doutor José Fernando Gomes Requeijo
Professor auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Professora Doutora Helena Maria Pereira Pinto Dourado e Alvelos
Professora auxiliar da Universidade de Aveiro (orientadora)

agradecimentos

Quero agradecer à minha família pelo apoio que me deu durante todo o meu percurso académico. Quero agradecer aos meus amigos que estiveram sempre comigo, nos bons e maus momentos. Quero agradecer a todos os meus professores, que contribuíram para a minha formação. Quero agradecer aos colaboradores da Teka Portugal S.A., nomeadamente aos do departamento da Qualidade, por me terem recebido com o espírito livre.

palavras-chave

Fornos microondas, qualidade, estatística

resumo

Com o presente trabalho pretende-se estudar alguns problemas de não-qualidade e as suas eventuais causas, tendo como objecto de estudo a produção de fornos microondas na TEKA Portugal S.A.

A metodologia seguida tem como principal veio condutor a integração de diversas ferramentas da qualidade e métodos estatísticos. Recorreu-se a ferramentas de estatística descritiva, de inferência estatística - testes de hipóteses e análise de variância e a métodos estatísticos multivariados - análise factorial e regressão linear múltipla.

A redução do número de variáveis foi um dos objectivos atingidos, tendo sido também possível estabelecer um modelo matemático que explica parte das fugas de radiação microondas nos referidos fornos.

keywords

Microwave oven, quality, statistics

abstract

With the present work it is aimed to study some non-quality and its eventual causes, having the microwave oven production in TEKA Portugal S.A. as the object of study.

The followed methodology conducting vein is the integration of various tools of quality and statistical methods. Descriptive statistics, the statistical inference - testing of hypotheses and analysis of variance and multivariate statistical methods - factor analysis and multiple regressions were used.

The reduction in the number of variables was one of the achieved objectives. It also became possible to establish a mathematical model which explains part of the microwave radiation escapes in the above-mentioned ovens.

Índice de conteúdos

1. Introdução	1
1.1. Relevância do tema	1
1.2. Objectivos	2
1.3. Estrutura do relatório	2
2. Qualidade, variação e pensamento estatístico	5
2.1. Conceitos	5
2.2. Princípios da qualidade.....	6
2.3. Ferramentas básicas da qualidade	8
2.4. Estatística e análise de dados	11
2.4.1. Tipos de dados, população e amostra.....	11
2.4.2. Estatística descritiva	12
2.4.3. Inferência estatística	14
2.4.4. Análise multivariada	15
2.5. Controlo estatístico e capacidade de processo.....	18
3. Caso de estudo	21
3.1. Apresentação da empresa.....	21
3.2. Os fornos microondas e as microondas	21
3.3. O processo de fabrico dos microondas 18/20L.....	22
3.4. Metodologia adoptada	24
3.5. População e amostra	25
3.6. Recolha dos dados	26
3.7. Problemas em estudo.....	27
3.8. Peças críticas.....	29
3.9. Variáveis em estudo	32
3.10. Tratamento dos dados.....	37
3.10.1. Teste à diferença entre os microondas de 18 e de 20 litros	37
3.10.2. Teste ao perfil da frente antes e depois do posto A	41
3.10.3. Caracterização das amostras recolhidas	44
3.10.4. Estudo da relação entre as fugas e as suas potenciais causas	64
4. Conclusões	71

4.1. Perspectivas de desenvolvimento futuro.....	73
Referências	75
Bibliografia.....	75
Sites Consultados.....	76
Anexos	77
Anexo 1 – Intervalos de confiança dos conjuntos relativos à análise de variância ao plano da porta	78
Anexo 2 – Análise de amplitude do plano da porta	79
Anexo 3 – Matriz de correlações relativas às cotas dos pontos do plano da porta.....	80
Anexo 4 – Intervalos de confiança dos conjuntos relativos à análise de variância ao plano da frente	81
Anexo 5 – Análise de amplitude ao plano da frente	86
Anexo 6 – Matriz de correlações relativas às cotas dos pontos do plano da frente	87
Anexo 7 – Dados recolhidos	88

Índice de tabelas

Tabela 1 - Relações hipotéticas entre as peças e os problemas em estudo	31
Tabela 2 - Valores de prova do teste t realizado ao perfil da frente (modelos de capacidade).....	40
Tabela 3 - Valores de prova do teste t realizado ao alinhamento	41
Tabela 4 - Valores de prova do teste t realizado ao perfil da frente (momentos de produção)	43
Tabela 5 - Resumo de algumas estatísticas dos pontos do plano da porta	45
Tabela 6 - Resultado da Anova ao perfil da porta	47
Tabela 7 - Discriminação da variância explicada pelos factores (perfil da porta).....	49
Tabela 8 - Matriz dos factores extraídos, rodados ortogonalmente (perfil da porta)	49
Tabela 9 - Resumo de algumas estatísticas dos pontos do plano da frente	54
Tabela 10 - Resultado da Anova ao perfil da frente.....	55
Tabela 11 - Discriminação da variância explicada pelos factores (perfil da frente).....	57
Tabela 12 - Matriz dos factores extraídos, rodados ortogonalmente (perfil da frente).....	58
Tabela 13 - Variáveis correlacionadas com os problemas de fuga	65

Índice de figuras

Figura 1 - Diagrama de Ishikawa (fonte: gestaoindustrial.com)	8
Figura 2 - Histograma com distribuição unimodal (à esquerda) e multimodal (à direita)....	9
Figura 3 - Curva normal para uma distribuição de média 3,8 e desvio-padrão 4,3.....	10
Figura 4 - Gráfico de dispersão (adaptado de: www.prevqualar.org)	11
Figura 5 - Técnicas de estatística multivariada (fonte: Vasconcelos J., 2007)	18
Figura 6 - Esquema das fases de fabrico dos fornos microondas	24
Figura 7 - Planos da porta e da frente (a vermelho)	27
Figura 8 - Esquema das zonas críticas do alinhamento.....	28
Figura 9 - Zonas de medição do alinhamento	29
Figura 10 - Diagramas de causa-efeito para a fuga (cima) e desalinhamento (baixo).....	31
Figura 11 - Pormenor dos 8 pontos do plano da porta	32
Figura 12 - Pormenor dos 16 pontos do plano da frente.....	33
Figura 13 - Quinagem de assentamento da dobradiça (QAD)	34
Figura 14 - Base e medição do plano de assentamento da dobradiça (PAD)	35
Figura 15 - Dobradiça e respectiva medição	36
Figura 16 - Diferença entre as carcaças de 18 e 20 litros.....	38
Figura 17 - Gráficos dos pontos da frente dos fornos 18L (em cima) e 20L (em baixo)	39
Figura 18 - Gráficos dos alinhamentos dos fornos 18L (em cima) e 20L (em baixo)	39
Figura 19 - Gráficos dos pontos da frente dos fornos 18L antes (em cima) e depois (em baixo) do posto A.....	42
Figura 20 - Histograma dos pontos relativos ao plano da porta	44
Figura 21 - Gráfico dos pontos do perfil da porta	45
Figura 22 - Valor médio e intervalo de confiança a 95% para o perfil da porta	46
Figura 23 - Esquema dos grupos de pontos formados na Anova ao perfil da porta.....	47
Figura 24 - Factores 1, 2 e 3 do perfil da porta	50
Figura 25 - Pontos máximo e mínimo do perfil da porta	51
Figura 26 - Histograma dos pontos relativos ao perfil da frente	52
Figura 27 - Gráfico dos pontos do perfil da frente	53
Figura 28 - Valor médio e intervalo de confiança a 95% para o perfil da frente	55
Figura 29 - Esquema dos grupos de pontos formados na Anova ao perfil da frente.....	56
Figura 30 - Factores 1, 2, 3 e 4 do perfil da frente	58
Figura 31 - Pontos máximo e mínimo do perfil da frente	59
Figura 32 - Histograma dos pontos relativos ao QAD	60
Figura 33 - Histograma dos pontos relativos ao PAD.....	61
Figura 34 - Histogramas dos pontos relativos à dobradiça	62
Figura 35 - Histogramas dos pontos relativos à fuga	63
Figura 36 - Algumas variáveis correlacionadas com as fugas de radiação.....	66
Figura 37 - Resultados da regressão linear 1 para a fuga.....	67
Figura 38 - Resultados da regressão linear 2 para a fuga.....	68
Figura 39 - Resultados da regressão linear 4 para a fuga.....	70

1. Introdução

1.1. Relevância do tema

O ambiente competitivo que se vive nos mercados globais retira espaço às organizações para afirmarem uma posição na sua envolvente empresarial, sobrando menos margem para erros.

A relação entre as necessidades do mercado e a capacidade da indústria confirmam o facto de os consumidores finais terem cada vez mais peso na decisão de compra. São eles que definem os requisitos de um produto, esperando que este possua elevados níveis de desempenho e fiabilidade, com os aspectos estéticos a assumirem um peso cada vez mais significativo nas escolhas, e, tudo isto aliado a preços competitivos e a níveis de serviço notáveis.

A qualidade assume, então, um papel fundamental na gestão de uma organização, quer a montante na identificação dos requisitos dos clientes, quer durante a produção avaliando e minimizando os desvios desnecessários, quer também a jusante na garantia e serviço pós-venda.

Esta abordagem, abrangente e transversal da qualidade, confere-lhe uma multidisciplinaridade própria, e que requer o domínio em áreas do conhecimento muito díspares, para poder ser implementada com sucesso. Este sucesso só é, porém, possível se toda a estrutura da empresa tiver envolta num espírito de melhoria contínua.

Qualquer fenómeno tem associado a si uma variabilidade. Os processos de fabrico não são excepção e em ambiente fabril são muitos os factores que contribuem para essa variação. Como se pretende que um produto tenha o mínimo desvio possível em relação aos requisitos definidos no projecto, é importante identificar quais os factores que mais contribuem para os desvios, agir sobre eles e controlá-los.

A adopção de metodologias de exploração dos processos envolvidos na realização de um produto, como parte de um sistema e recorrendo a factos e dados concretos, torna-se fundamental para a tomada de decisões.

1.2. Objectivos

Com o presente trabalho pretende-se estudar alguns problemas de não-qualidade e as suas eventuais causas, tendo como objecto de estudo a produção de fornos microondas.

A metodologia seguida terá como principal veio condutor a integração de diversas ferramentas da qualidade e métodos estatísticos.

Para além de caracterizar as variáveis presentes no estudo, pretende-se encontrar padrões de dados que permitam reduzir o esforço de medição de algumas peças. Será avaliada também a possibilidade de estabelecer um modelo matemático que explique a relação de causa-efeito entre as peças e os problemas.

1.3. Estrutura do relatório

O presente relatório começa por um enquadramento teórico no qual são apresentados, de forma sintética e clara, os princípios, conceitos e ferramentas de qualidade e estatística utilizados ao longo do trabalho.

Seguidamente é apresentado e explicado o caso de estudo. Inicialmente neste capítulo é feita uma breve apresentação da empresa onde foi realizado o estudo.

De seguida é feita uma breve abordagem ao funcionamento de um forno microondas, antes de explicar o processo de fabrico dos mesmos.

São também detalhados a metodologia abordada, o problema em causa, as suas variáveis, e a base amostral que suportou o estudo. Posteriormente é exposta a caracterização das amostras obtidas e são apresentadas as análises realizadas ao longo da investigação e o respectivo tratamento dos dados.

Por fim são sumarizados os principais resultados obtidos, complementados pelas conclusões retiradas do estudo.

2. Qualidade, variação e pensamento estatístico

2.1. Conceitos

O conceito de qualidade assumiu, ao longo do tempo, vários significados e interpretações e foi desenvolvido e aplicado por diversos autores cujos trabalhos são ainda hoje fundamentais para as organizações. De qualquer forma, é certo que em todas essas teorias existe um denominador comum: satisfazer “os requisitos dos clientes, colaboradores e regulamentares aplicáveis”¹.

Investir na qualidade é um dos pilares que deve sustentar a gestão de uma organização pois potencia a redução de custos e o aumento da satisfação de todas as partes envolvidas.

Crosby (1979), escreve que “a qualidade significa conformidade face aos requisitos e (...) é gratuita. Não é um presente mas é gratuita. Os custos provém da falta de qualidade e das tarefas que não são bem realizadas à primeira”. Além disso, Crosby define os custos de não qualidade como a única medida de desempenho e os “Zero Defeitos” como o único padrão de desempenho a ser seguido.

A qualidade pode ser definida com base em diferentes aspectos, sejam estéticos, funcionais ou de segurança, por exemplo.

Na Natureza, todos os fenómenos são afectados de uma variabilidade que os torna únicos na sua essência.

Do mesmo modo, devido a causas que normalmente se designam causas comuns (aquelas que em diferentes grandezas estão sempre presentes em qualquer processo) ou causas assinaláveis (factores irregulares e instáveis e, por isso mesmo imprevisíveis), dois produtos nunca são rigorosamente iguais.

Todos os processos de uma organização devem ser interpretados como sendo parte de um sistema e em todos esses processos existe variação.

Kume (1993) afirma que é a variação que origina os erros.

¹ Fonte: NP EN ISO 9001:2000 “Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos”

Uma implementação de melhoria só é, então, consistente se as fontes de variação dos processos forem identificadas. No seu livro *Out of the crisis* (1984), E. Deming defende que “os métodos estatísticos podem ser usados para identificar e quantificar a variação” tornando assim mais fácil a sua detecção e compreensão.

A estatística é uma parte da matemática aplicada que fornece métodos para recolha, organização, descrição, análise e interpretação de dados e para a utilização dos mesmos na tomada de decisões.

As ferramentas estatísticas podem ser divididas em três grandes grupos: a estatística descritiva que compreende a recolha, a organização, a descrição dos dados de forma a apresentá-los de forma conveniente e perceptível; e a inferência estatística que compreende procedimentos empregues na análise e na interpretação dos dados para chegar a conclusões sobre populações com base em dados amostrais, associados a uma margem de incerteza; e a estatística multivariada que “se refere a todos os métodos estatísticos que analisam simultaneamente múltiplas observações (...) de diversas variáveis aleatórias e inter-relacionadas” (Hair, 1998) com o intuito de detectar inter-relações entre os dados.

Existem várias técnicas estatísticas, que poderão ser úteis para caracterizar os processos, a sua variação (estatísticas descritivas), assim como estabelecer relações de causa-efeito permitindo explicar ou prever resultados (análise de correlação e de regressão), realizar inferência estatística (testes de hipóteses e análise de variância) assim como redução de dados e identificação de padrões (análise factorial).

2.2. Princípios da qualidade

Para que a qualidade seja promovida correctamente, podem seguir-se diferentes metodologias, sendo que o ciclo PDCA (Plan – Planear; Do – Executar; Check – Verificar; Act – Actuar), idealizado por W. Shewhart e divulgado por E. Deming, poderá sistematizar a sua implementação.

A adopção de um sistema de gestão da qualidade deverá, segundo a norma NP EN ISO 9001:2005, ter como pilares os 8 princípios básicos da qualidade, entre os quais:

- Focalização no cliente

As organizações dependem dos seus clientes devendo assim orientar a sua conduta para satisfazer e até mesmo exceder as suas expectativas. É apanágio deste princípio a capacidade das empresas em transformar os requisitos dos clientes em características dos produtos.

- Abordagem por processos

Um resultado desejado é atingido de forma mais eficiente quando as actividades e os recursos associados são geridos como um processo. Existe melhor definição de responsabilidades, cumprimento de objectivos e avaliação de riscos para além da diminuição do tempo perdido com actividades desnecessárias.

- Abordagem da gestão como um sistema

Identificar, compreender e gerir processos inter-relacionados como um sistema e perceber o peso de cada actividade nos objectivos, contribui para que a organização atinja os seus objectivos com eficácia e eficiência.

- Melhoria contínua

Convém que a melhoria contínua do desempenho global de uma organização seja um objectivo permanente dessa organização. É um “estado de espírito” que deve andar associado à cultura da empresa.

- Tomada de decisão baseada em factos

Assegurar que a informação existente é relevante, exacta e que esteja disponível para que possam ser tomadas as decisões com base em factos e não na intuição.

Além dos princípios enumerados, a liderança, o envolvimento das pessoas e as relações mutuamente benéficas com os fornecedores completam o conjunto de princípios que devem estar presentes na gestão de uma organização.

2.3. Ferramentas básicas da qualidade

Karou Ishikawa organizou sete ferramentas, de simples utilização, mas capazes de fornecer informação útil para o estudo, compreensão e controlo de processos. Segundo Ishikawa, estas ferramentas podem ajudar a eliminar até 95% dos problemas. Entre elas:

- Diagramas de Ishikawa

É uma ferramenta gráfica que ajuda a encontrar, de forma estruturada, as origens de um determinado problema ou fenómeno. As causas para esse problema ou fenómeno são normalmente agrupadas em 5 categorias principais: meio ambiente, mão-de-obra, maquinaria, métodos ou materiais.

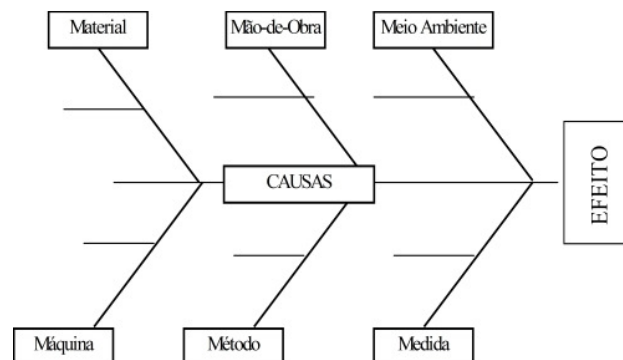


Figura 1 - Diagrama de Ishikawa (fonte: gestaoindustrial.com)

- Histogramas

São gráficos que ilustram a frequência (absoluta ou relativa) com que se verificam determinados valores de uma variável permitindo assim ter uma visão objectiva sobre o comportamento de uma variável, algo que não era possível com um quadro ou tabela de dados.

Nestes gráficos é possível distinguir diferentes tipos de distribuição, assim como ter uma noção da localização e dispersão dos dados.

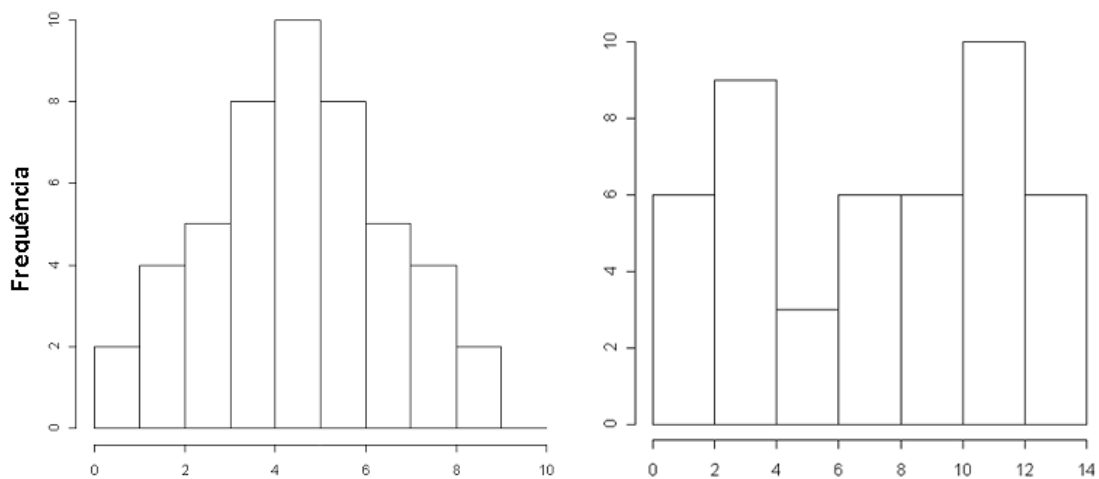


Figura 2 - Histograma com distribuição unimodal (à esquerda) e multimodal (à direita)

A distribuição que será mais pertinente estudar no âmbito deste trabalho é a distribuição Normal (ou de Gauss), visto que algumas das técnicas utilizadas neste estudo pressupõem a normalidade dos dados.

Uma variável resultante da soma de um grande n.º de efeitos provocados por causas independentes, na qual o efeito de cada causa é negligenciável em relação à soma de todos os outros efeitos, segue aproximadamente uma distribuição Normal. Uma distribuição Normal assume graficamente a forma semelhante à de um sino (ver figura 3).

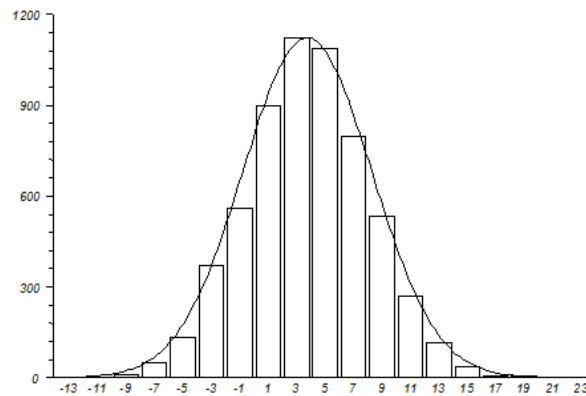


Figura 3 - Curva normal para uma distribuição de média 3,8 e desvio-padrão 4,3

- Folhas de registo/verificação

Permitem planejar e conduzir a recolha de dados de uma forma organizada. Devem ser de preenchimento e interpretação fáceis e imediatos.

- Fluxogramas

Destinam-se a ilustrar as várias etapas de um processo, ordenadas sequencialmente. São ferramentas de cariz essencialmente gráfico e que possibilitam um melhor conhecimento dos processos, a identificação de causas para alguns problemas e de actividades que não acrescentam valor.

- Gráficos de dispersão

Complementam os histogramas no estudo do comportamento de uma variável e permitem estudar relações de causa-efeito entre duas variáveis (gráficos de dispersão simples) ou a evolução temporal de uma variável (gráficos de tendência).

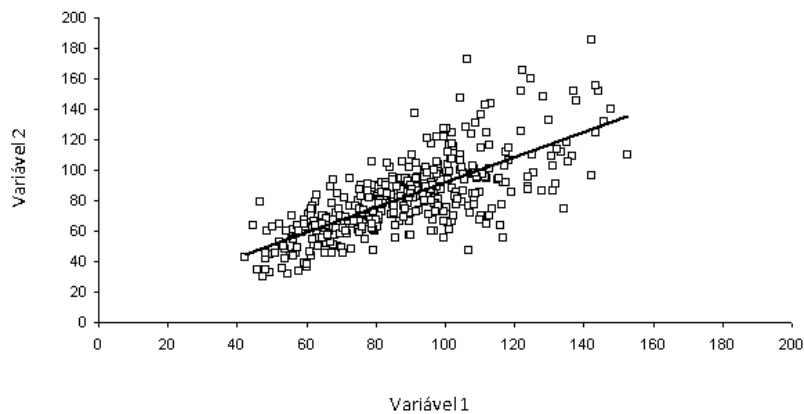


Figura 4 - Gráfico de dispersão (adaptado de: www.prevqualar.org)

2.4. Estatística e análise de dados

Apesar de não ser objecto deste estudo a compreensão exaustiva das demonstrações matemáticas que suportam as estatísticas utilizadas, importa explicar sumariamente alguns conceitos e técnicas que irão servir de suporte à presente investigação.

2.4.1. Tipos de dados, população e amostra

Os dados observados podem ser de natureza qualitativa ou quantitativa. Qualquer que seja o atributo considerado, o seu valor numérico pode variar de elemento para elemento. Por isto, representam-se estes valores por uma variável. Estas variáveis podem ser discretas ou contínuas, ainda que é sempre feita uma conversão das variáveis contínuas em discretas, por limitação de precisão quer computacional quer dos instrumentos de medida.

A população é o conjunto total de objectos cujas características se pretende estudar. A amostra é um subconjunto da população. A amostra é obtida recorrendo a um método de amostragem, que pode ser probabilístico, pseudo-aleatório ou não-probabilístico (Vasconcelos, 2007).

A dimensão da amostra vai depender dos recursos disponíveis ou do grau de confiança que se pretende obter. Este grau de confiança vai influenciar a pertinência da generalização dos resultados para a população. Geralmente, quanto maior for a amostra, mais confiança se pode depositar nos resultados obtidos e nas generalizações realizadas.

2.4.2. Estatística descritiva

A estatística descritiva consiste num conjunto de métodos que permitem descrever de forma compreensível e sintética a informação contida nos dados. É, geralmente, a primeira instância estatística usada numa análise de dados.

Para representar os dados podem ser usadas diferentes estatísticas que fornecem informação diversa e complementar. A título de exemplo:

- Estatísticas de localização: média, mediana e moda;

Média:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Mediana: valor que apresenta 50% de observações inferiores e 50% de observações superiores.

Moda: valor mais frequente.

- Estatísticas de dispersão: amplitude, desvio padrão e variância;

Amplitude:

$$\Delta = x_{\max} - x_{\min}$$

Variância:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Desvio padrão:

$$s = \sqrt{s^2}$$

- Outras estatísticas: coeficiente de Skewness (medida de assimetria) e coeficiente de Kurtosis (medida de achatamento).

Existem também algumas ferramentas gráficas que auxiliam na análise descritiva dos dados, tais como caixa de bigodes, gráficos de barras (histogramas ou diagrama de Pareto por exemplo) e gráficos de dispersão (ver 2.3. Ferramentas básicas da qualidade).

- Correlação e covariância

Nos gráficos de dispersão é possível perceber relações entre duas variáveis.

Entre duas variáveis podem existir vários tipos de relação. Quando se trata de relações lineares, o grau de relacionamento pode ser medido através da covariância entre variáveis e do seu coeficiente de correlação. A correlação pode ser positiva – quando ambas crescem no mesmo sentido – ou negativa – quando crescem em sentido oposto. O coeficiente de correlação de Pearson é então uma medida da correlação ou associação linear entre variáveis e pode ser calculado segundo a seguinte equação:

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y}$$

Onde s_x e s_y são os desvios padrão das variáveis x e y respectivamente, e s_{xy} é a covariância, medida da variação conjunta entre as variáveis e que se calcula da seguinte forma:

$$s_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

2.4.3. Inferência estatística

Com a inferência estatística “existe o objectivo adicional de caracterizar a população a partir da qual a amostra foi retirada”, a partir das suas estatísticas, “procurando designadamente estimar parâmetros desta população” (Guimarães, 2007).

Tal pode ser feito recorrendo à estimação pontual (estimadores), à estimação por intervalo (intervalos de confiança) ou a testes de hipóteses.

Nestes últimos, largamente utilizados, averigua-se se determinada conjectura (envolvendo, frequentemente, o valor de um Parâmetro), designada por “hipótese alternativa”, é corroborada pelo valor calculado para uma estatística apropriada (Estatística de Teste).

Teste de Kolmogorov-Smirnov

O Teste de Kolmogorov-Smirnov é um teste de qualidade do ajuste que permite inferir acerca da distribuição da população da qual é retirada a amostra, no caso de variáveis contínuas.

O princípio deste teste baseia-se na comparação da curva da frequência cumulativa dos dados, com a função de distribuição teórica em hipótese calculando a máxima diferença entre ambas. Se os dados experimentais se afastam significativamente do que é esperado segundo a distribuição em hipótese, então as curvas obtidas devem encontrar-se igualmente afastadas, e por um raciocínio análogo, se o ajustamento ao modelo hipotético é admissível, as curvas têm um delineamento próximo.

No contexto deste trabalho vai ser usado para avaliar a normalidade de algumas distribuições.

Teste t

Com este teste pretende-se averiguar acerca da localização de duas amostras independentes, provenientes de duas populações.

Este teste torna-se útil para detectar a presença de grupos de observações com características diferentes dentro das amostras recolhidas. Pode ser usado para estudar amostras independentes ou amostras emparelhadas.

2.4.4. Análise multivariada

Quando se pretende estudar o efeito conjunto de múltiplas variáveis, utiliza-se a análise multivariada que consiste num grande número de métodos e técnicas que utilizam, simultaneamente, a informação contida nas diversas variáveis na interpretação do conjunto de dados obtidos, com o objectivo de identificar relações entre os dados.

A evolução das tecnologias de informação e de processamento de cálculo abriu fronteiras na aplicação de técnicas de tratamento de dados muito complexos e numerosos.

Geralmente, quando se estudam conjuntos de dados, pretende-se estabelecer padrões de evolução, tendências ou relações entre diferentes variáveis ou grupos de observações.

A escolha de um método de análise multivariada terá que ter em conta o tipo de dados, o número de variáveis dependentes e independentes e o tipo de relação que pode ser de dependência ou interdependência (adaptado de: Hair, 1998).

Na figura 5 estão representadas as diversas técnicas de estatística multivariada. Aquelas que serão usadas no âmbito deste trabalho estão destacadas a azul.

Análise de variância

O objectivo da análise da variância é o de comparar médias de diferentes amostras independentes e concluir acerca da igualdade dos parâmetros teóricos das distribuições de onde são retiradas essas amostras. Segundo Guimarães (2007), “a partir da análise da dispersão total presente num conjunto de dados, a análise de variância permite identificar os factores que deram origem a essa dispersão e avaliar a contribuição de cada um deles”.

As variáveis dependentes são quantitativas e as independentes são qualitativas.

Esta técnica pressupõe que os dados sejam normais, que possuam homocedasticidade² e independência dos erros.

A hipótese da independência dos erros é geralmente assegurada desde que “os dados sejam recolhidos convenientemente num determinado momento” (Guimarães, 2007).

A homogeneidade das variâncias deve ser a última a ser testada, não porque é menos importante, mas porque a eficiência de alguns testes para verificar a homogeneidade, depende da distribuição normal dos erros.

Um procedimento para testar a homocedasticidade relativamente insensível a desvios da normalidade é o teste de Levene. É um teste robusto e passível de ser utilizado em dados não equilibrados.

Análise de regressão linear

Quando se pretende estabelecer um modelo matemático para uma possível relação entre variáveis, a regressão linear é uma das ferramentas relevantes.

Assim, pretende-se ajustar um modelo ao relacionamento entre um conjunto de causas (variáveis independentes ou regressores) e os respectivos efeitos (variáveis dependentes).

² Homocedasticidade: homogeneidade de variâncias.

Existem dois objectivos primordiais para os quais pode ser usada a regressão linear. Um é o de prever o resultado de uma variável dependente consoante as observações registadas nas variáveis independentes, sem que haja manipulação destas. O outro é o de explicar como uma saída de um sistema pode ser influenciada por diferentes variáveis – as entradas – desse sistema, sendo assim possível alterar os valores dessas entradas e estabelecer modelos de relação.

Esta segunda abordagem será o objectivo mais pertinente no âmbito deste estudo.

O uso da regressão linear impõe que exista linearidade entre as variáveis dependente e independentes e que os dados respeitem normalidade, homogeneidade de variância e independência dos erros.

Análise factorial de componentes principais

Em estudos em que o número de variáveis é elevado, e se pretende avaliar a hipótese de reduzir esse número, pode recorrer-se à análise factorial.

Com base na matriz correlações ou de co-variâncias, identifica “a estrutura e o relacionamento entre as variáveis (...) e se a informação pode ser condensada ou sumariada” (Hair, 1998). Em princípio, as variáveis são quantitativas, embora a técnica também possa lidar com variáveis binárias.

Neste caso de estudo, como existem dados com ordens de grandeza diferentes, usa-se a matriz de correlações.

Os factores são combinações lineares das variáveis originais e devem ser retidos em número inferior ao destas. Servem para interpretar e sintetizar as inter-relações que os dados exibem.

O número de factores a reter prende-se com a percentagem da variância que em conjunto explicam ou com a contribuição marginal de cada um deles (em valor absoluto ou relativo) para a variância explicada.

Com o objectivo de explicarem o máximo de variância, os primeiros factores a serem extraídos mantêm, habitualmente, relações fortes com grande parte das variáveis. Tal facto dificulta a interpretação dos factores.

Para facilitar a interpretação, é comum rodá-los ortogonalmente de modo a obter um conjunto mais equilibrado (variância explicada melhor distribuída pelos factores) cujas correlações com as variáveis originais se aproximem de 0 ou 1 (em valor absoluto).

Assim, com base nos factores define-se um grupo de variáveis restrito representativo dos dados.

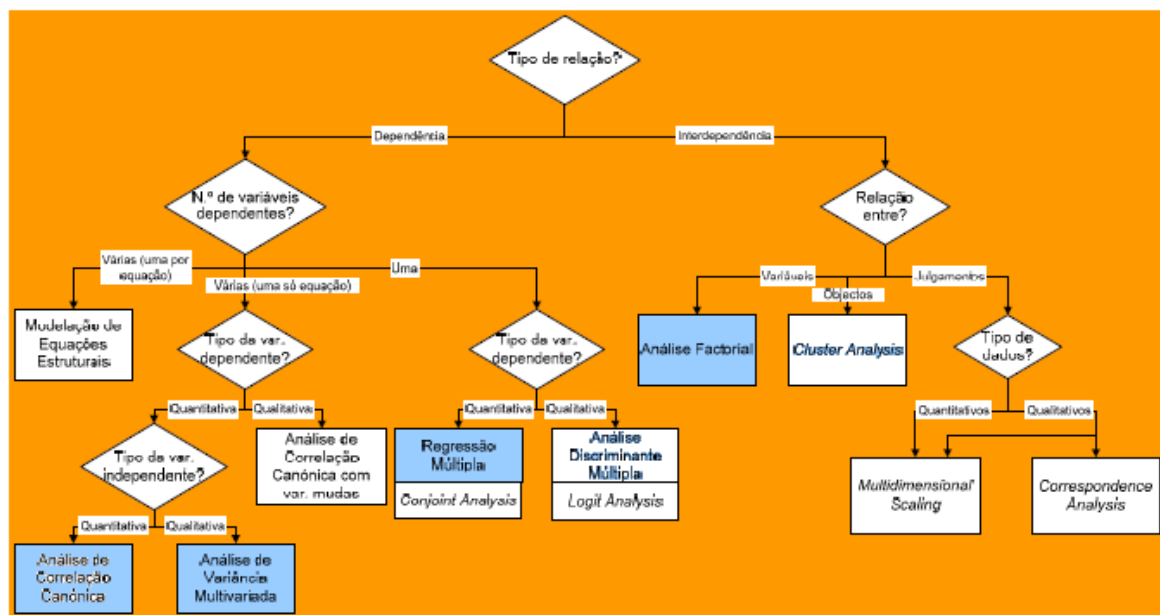


Figura 5 - Técnicas de estatística multivariada (fonte: Vasconcelos J., 2007)

2.5. Controlo estatístico e capacidade de processo

O controlo estatístico de processos é uma ferramenta da qualidade que serve para “monitorizar um processo que visando identificação de causas especiais de variação” (Evans & Lindsay, 2002) e é passível de ser aplicado “quer a parâmetros internos dos processos, quer aos [seus] produtos” (Juran & Gryna, 2001).

Admitindo o pressuposto de que um processo é correctamente descrito por uma distribuição normal, é possível aplicar controlo estatístico com o objectivo de detectar a presença de causas assinaláveis de variação. A eliminação das causas assinaláveis permite

estabilizar o processo ficando este afectado apenas pelas causas comuns, ou seja, sob controlo e previsível.

No entanto, quando um processo está sob controlo, não significa que esteja a produzir resultados dentro dos limites de especificação. Deve ter-se em conta a possibilidade de a saída do processo não se encontrar centrada nas especificações definidas no projecto.

Genichi Taguchi defende que é preferível ter um produto que tem um desempenho médio fora de especificação mas muito consistente, do que um produto com desempenho médio próximo da especificação mas pouco consistente

Assim, conhecendo a variação natural do processo, a melhoria da sua capacidade é o passo a seguir. A capacidade do processo é uma medida de relação entre a variação permitida pelo projecto e a variação real do processo.

A garantia de que um processo está sob controlo e capaz confere ao produtor e ao cliente a certeza de que esse processo irá originar produtos com qualidade controlada e consistente. Para além disso, a identificação das causas da variabilidade e da sua importância permite concentrar os esforços de resolução dos problemas e redução da variação desnecessária, de modo mais eficaz.

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6 * \sigma}$$

Geralmente admite-se que um processo tem uma boa capacidade quando o índice Cp é igual ou superior a 1,3.

O índice Cp não tem em conta o facto de o processo se encontrar descentrado. Um processo pode ter um índice Cp acima de 1,3 e ainda assim estar a produzir peças fora da especificação. É, então, usual complementar a análise do Cp com o índice Cpk que leva em conta a distância da média do processo em relação às especificações.

$$Cpk = \min \left\{ \frac{LSE - \mu}{3 * \sigma}; \frac{\mu - LIE}{3 * \sigma} \right\}$$

Um processo centrado tem os índices C_p e C_{pk} iguais. Se a média do processo se situar fora dos limites de especificação, o índice C_{pk} é negativo, independentemente do valor de C_p que tem apenas em conta a variabilidade.

3. Caso de estudo

3.1. Apresentação da empresa

O estágio curricular, no âmbito do mestrado em engenharia e gestão industrial, decorreu na Teka Portugal S.A. Esta empresa é uma das principais subsidiárias do Grupo Teka, grupo multinacional de origem alemã, fundado em 1924.

A Teka Portugal S.A. – Equipamentos de Cozinha foi fundada em 1978 e é uma das maiores empresas no Concelho de Ílhavo.

Actualmente, a Teka responde principalmente ao Mercado Único Europeu, e em Portugal a Teka Portugal S.A. desenvolve actividades em diferentes segmentos de negócio que passam pela fabricação e comercialização de equipamentos de cozinha, banho e electrónicos.

O estágio decorreu no departamento de qualidade da empresa, departamento esse que assume uma importância fulcral nos processos de concepção e fabricação da mesma.

3.2. Os fornos microondas e as microondas

Os fornos microondas são electrodomésticos indispensáveis na cozinha contemporânea. Com a velocidade com que a sociedade vive o dia-a-dia surge a necessidade de reduzir ao máximo o tempo dispendido em certas tarefas rotineiras, nomeadamente a confecção de alimentos. Os fornos microondas têm a particularidade de serem capazes de aquecer, confeccionar ou descongelar comida em intervalos de tempo reduzidos comparados com os métodos tradicionais.

O princípio de funcionamento de um microondas pode ser facilmente entendido. O magnetron é o dispositivo constituinte do forno microondas onde são geradas as microondas a partir de energia eléctrica.

A radiação de microondas é um tipo de energia electromagnética situada, no espectro electromagnético, entre as frequências de 10^9 Hz até aproximadamente 3×10^{11} Hz (os comprimentos de onda correspondentes variam entre os 30 cm e 1,0 mm). Esta radiação é transmitida para a cavidade do microondas, reflectida pelas paredes metálicas e absorvida, em parte, pelas moléculas de água presentes nos alimentos.

A água é uma molécula bipolar e, como tal, interage com o campo eléctrico da radiação microondas. No seu estado normal, as moléculas da água estão em desordem, i.e., não respeitam uma orientação única. Quando submetidas à presença de um campo eléctrico, tendem a ordenar-se no sentido desse campo. Como a orientação do campo eléctrico das microondas alterna ciclicamente – cerca de $2,45 \times 10^9$ vezes por segundo, num forno microondas convencional – ocorre uma rotação e vibração das moléculas da água que irá resultar na libertação de calor, que será depois transmitido por indução a diferentes zonas dos alimentos.

A radiação microondas é absorvida pela água, açúcares e gorduras por efeito de ressonância, é reflectida pelos metais e atravessa a maioria dos vidros, plásticos, porcelanas e papéis sofrendo refacção. Como tal, este tipo de radiação interage com as moléculas de água presentes no corpo humano e nos seres vivos em geral, podendo dar origem a queimaduras graves. A eliminação de fugas de radiação deve ser uma prioridade na produção de fornos microondas.

Por outro lado, cada vez mais os microondas fazem parte do leque de electrodomésticos que compõe as cozinhas modernas. Cozinhas essas onde a estética e a qualidade dos acabamentos são factores preponderantes. A perfeição nos acabamentos deverá então ser uma meta a atingir pelos fabricantes de microondas.

3.3. O processo de fabrico dos microondas 18/20L

As etapas pelas quais passa a produção de um forno microondas na TEKA Portugal S.A. são sequenciais e intercaladas com momentos de inspecção. Na figura 6 estão representadas, de uma forma simplificada, as fases do processo de fabrico dos fornos microondas.

As matérias-primas – chapa, componentes electrónicos, peças em plástico entre outras – são recepcionadas e inspeccionadas por amostragem. Os componentes podem ser armazenados ou utilizados directamente no processo de fabrico.

A chapa é conformada na fabricação de componentes dando origem a diferentes peças que irão fazer parte do forno. Durante a produção destas peças existem momentos de inspecção, essencialmente nos inícios de produção. As peças prontas são enviadas para a gôndola onde é removido o óleo anteriormente necessário à sua conformação nas prensas. De seguida passam pela soldadura e/ou pintura, consoante o modelo, estando depois prontas para entrar em linha de montagem.

Nesta fase existe um pequeno supermercado, próximo da linha de montagem, onde estão disponíveis algumas peças, geralmente as de menor dimensão. Esta característica é um dos fundamentos da ideologia JIT³ implementados na fábrica.

No posto A da linha de montagem, à carcaça é acoplada a base do microondas, é montado o magnetrão, o condensador e o ventilador.

Seguidamente, no posto B é montado o painel e a caixa de linguetes que vai fazer a comunicação entre a porta e o painel de comandos.

No posto C é montada a porta, recorrendo a um gabarit cuja função é posicionar correctamente a porta quando são apertadas as dobradiças. Também é montado o motor do prato rotativo.

Por fim, no posto D são feitos alguns ensaios ao microondas, quer funcionais, quer de segurança. O teste de fuga de radiação é realizado nesta fase. Quando o microondas é aprovado, é montada a envolvente e os suportes do aro externo (quando aplicável).

Na fase seguinte é feita auditoria ao produto, por amostragem, onde são realizados alguns ensaios, essencialmente relacionados com problemas de *call-rate*⁴

Seguidamente, o produto é embalado e armazenado ou expedido para os clientes.

³ JIT (just-in-time): é uma ideologia presente no Toyota Production System que permite reduzir os custos de produção.

⁴ *Call-rate*: problemas de qualidade, seja de mau funcionamento ou estéticos, que com mais frequência foram detectados pelo cliente final e desencadearam um processo de reclamação.

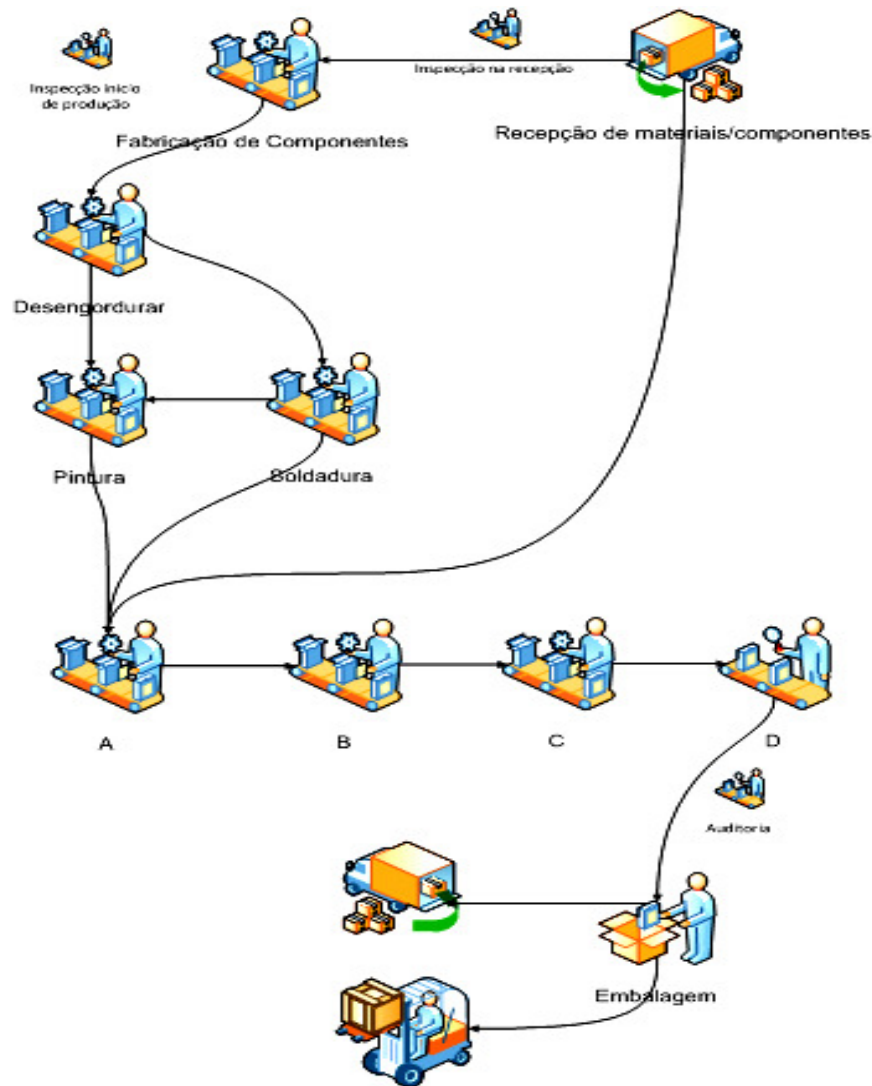


Figura 6 - Esquema das fases de fabrico dos fornos microondas

3.4. Metodologia adoptada

Os objectos de estudo foram os problemas relacionados com a fuga de microondas e com o alinhamento entre a porta e o painel do forno microondas.

Nesse sentido foram identificadas algumas das peças que se acredita terem relação directa ou indirecta com os problemas citados. Esta selecção foi feita com base no historial de estudos já efectuados na empresa, assim como no conhecimento dos métodos de montagem e das relações entre as peças.

Para evitar que a quantidade de variáveis em estudo fosse exageradamente elevada ao ponto de limitar a capacidade de análise, a variação proveniente dos diferentes operários não foi considerada, sendo que a recolha dos dados foi realizada sempre com o mesmo operário em cada fase de montagem.

Quanto aos processos de fabrico das peças e aos métodos de montagem dos microondas, também não foram, em geral, considerados como variáveis directas de estudo. Foi, porém, testado se os processos de montagem do posto A induzem alterações significativas ao nível da frente do microondas.

Este estudo tem um cariz exploratório, apesar de orientado pelas hipóteses iniciais, em que os dados existentes são combinados para darem origem a novos resultados. Os resultados não são definitivos, mas constituem indicativos de conduta na identificação de relações de causa-efeito.

Depois de recolhidos os dados foram estudados os padrões quer de características, quer de comportamento existentes que permitissem diminuir o número de variáveis.

Seguidamente foi testada a possibilidade de estabelecer um modelo matemático que ilustrasse a relação entre as peças e os problemas em estudo.

3.5. População e amostra

Devido ao elevado número de produtos concebidos na TEKA Portugal S.A., o estudo irá incidir primordialmente sobre o fabrico de fornos microondas de capacidades de 18 ou 20 litros, por duas razões principais:

- São produzidos em maior quantidade, constituindo uma população maior para a realização de estudos;
- A sua produção é aquela que é realizada há mais tempo, sendo que a ocorrência dos problemas está já estabilizada;

O processo de fabrico dos fornos microondas tem uma cadência de, aproximadamente, 200 unidades diárias.

Para realizar este estudo, foi realizada uma amostragem aleatória de 49 fornos, no espaço de uma semana. Foram medidos cerca de 5 fornos por dia, em intervalos de tempos similares.

Dos 49 fornos recolhidos, 14 são de capacidade 20 litros e os restantes de capacidade 18 litros. A existência de diferenças significativas entre estes dois modelos foi testada.

3.6. Recolha dos dados

A recolha de dados foi planeada para ser sequencial e respeitar a ordem normal do processo de fabrico.

Assim, antes de entrar em linha de montagem, foram medidas as dobradiças, as bases, as portas e as frentes provenientes da soldadura, sendo todas as peças numeradas para posteriormente estabelecer a relação de peças em cada forno.

Seguidamente foram colocadas as carcaças e as bases no posto A da linha de montagem. Depois de concluídas as operações neste posto – entre as quais a montagem da base na carcaça –, mediram-se novamente as frentes.

Depois do posto B, o forno é enviado para o posto C onde era montada a dobradiça e a porta. No fim das operações deste posto o microondas era recolhido para ser medido o alinhamento entre a porta e o painel. Neste momento já se possui a relação das peças utilizadas em cada forno.

Concluída esta medição, o microondas era entregue no posto D para testar a fuga de radiação microondas. Esta medição era registada e terminava a recolha de dados.

Os dados recolhidos podem ser consultados no anexo 7.

3.7. Problemas em estudo

- Fugas de radiação microondas

A fuga ocorre quando a folga entre a porta e a frente é tal que a radiação escapa para o exterior. A radiação que se propaga para o exterior da cavidade é medida em mW/cm^2 . A radiação máxima permitida está estabelecida normativamente pela BS5157⁵, e definida em $5 \text{ mW}/\text{cm}^2$ a 5 cm do forno. Na Teka adopta-se como limite máximo de fuga $3 \text{ mW}/\text{cm}^2$.

A fuga de radiação microondas é medida em torno da zona frontal do forno, no perfil de contacto entre a porta e a carcaça do mesmo, em oito pontos distintos.



Figura 7 - Planos da porta e da frente (a vermelho)

No âmbito deste estudo irá ser considerada como variável de estudo apenas a fuga máxima em cada forno microondas.

⁵ BS: British Standard

- Desalinhamento entre porta e painel

A porta e o painel estão desalinhados quando algum destes componentes não está posicionado correctamente, como previsto no projecto. Como está explícito na figura 8, as zonas superior (1), inferior (2), e do canto inferior esquerdo (3) são aquelas onde se torna mais visível este problema.



Figura 8 - Esquema das zonas críticas do alinhamento

As zonas 1 e 2 são aquelas que provocam o primeiro impacto de não conformidade no alinhamento. Na zona 3, em caso de desalinhamento, a porta irá tocar no aro externo ao abrir, criando um entrave à sua abertura.

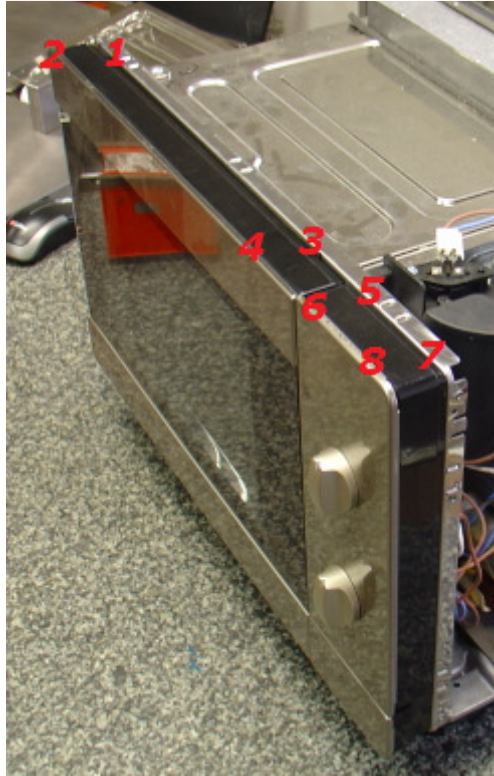


Figura 9 - Zonas de medição do alinhamento

Neste estudo, a medição do alinhamento no microondas vai ser feita na zona 1 porque as três zonas referidas estão relacionadas. Mais concretamente, irão ser consideradas como variáveis de estudo as diferenças entre os pontos 3 e 5 e entre os pontos 4 e 6 assinalados na figura 9 (note-se que se trata da relação entre a porta e o painel), porque reflectem a zona mais crítica e onde é mais visível a falta de alinhamento.

Seguidamente serão apresentadas as peças que, numa primeira fase, foram identificadas como potenciais causadoras dos problemas identificados.

3.8. Peças críticas

Os planos da porta e da frente do microondas devem coincidir para formarem um vedante o mais perfeito possível às radiações de microondas (ver figura 7).

Estas duas peças serão responsáveis, directamente, pela existência de fugas de radiação microondas, na medida em que as folgas existentes entre si irão determinar a passagem dessa radiação do interior da cavidade do forno para o exterior.

Não é de esperar que os planos da porta e da frente estejam relacionados com o desalinhamento entre a porta e o painel.

A porta, por sua vez, possui na sua configuração uma quinagem onde irá assentar a dobradiça e assim contribuir para definir a posição da porta no conjunto. Esta quinagem de assentamento da dobradiça (QAD) pode influenciar directamente o alinhamento porta/painel, e de forma indirecta contribuir para a fuga de radiação nos fornos.

A base do microondas é a peça onde assenta toda a carcaça do microondas. Nesta peça existe um plano onde assenta a dobradiça inferior, que por sua vez irá ser o suporte da porta e, consequentemente, irá posicionar esta em relação à frente. O plano de assentamento da dobradiça (PAD) deve então estar posicionado correctamente para que o sistema “dobradiça – porta” funcione segundo o projecto.

Este plano pode influenciar directamente o alinhamento porta/painel, e de forma indirecta contribuir para a fuga de radiação nos fornos.

A dobradiça inferior, peça onde assenta a porta, serve de guia para posicionar a porta em relação à frente do microondas. A cota da dobradiça em relação ao plano de assentamento na base deverá ser a projectada, para garantir a correcta posição da porta.

A dobradiça pode influenciar directamente o alinhamento porta/painel, e de forma indirecta contribuir para a fuga de radiação nos fornos.

Seguidamente são apresentados uma tabela onde estão apresentadas as relações hipotéticas entre as peças e os problemas e um diagrama de causa-efeito centrado nas peças.

Peça/Problema	Fuga de radiação	Desalinhamento
Plano da porta	D	SR
Plano da frente	D	SR
QAD	I	D
PAD	I	D
Dobradiça	I	D

Tabela 1 - Relações hipotéticas entre as peças e os problemas em estudo⁶

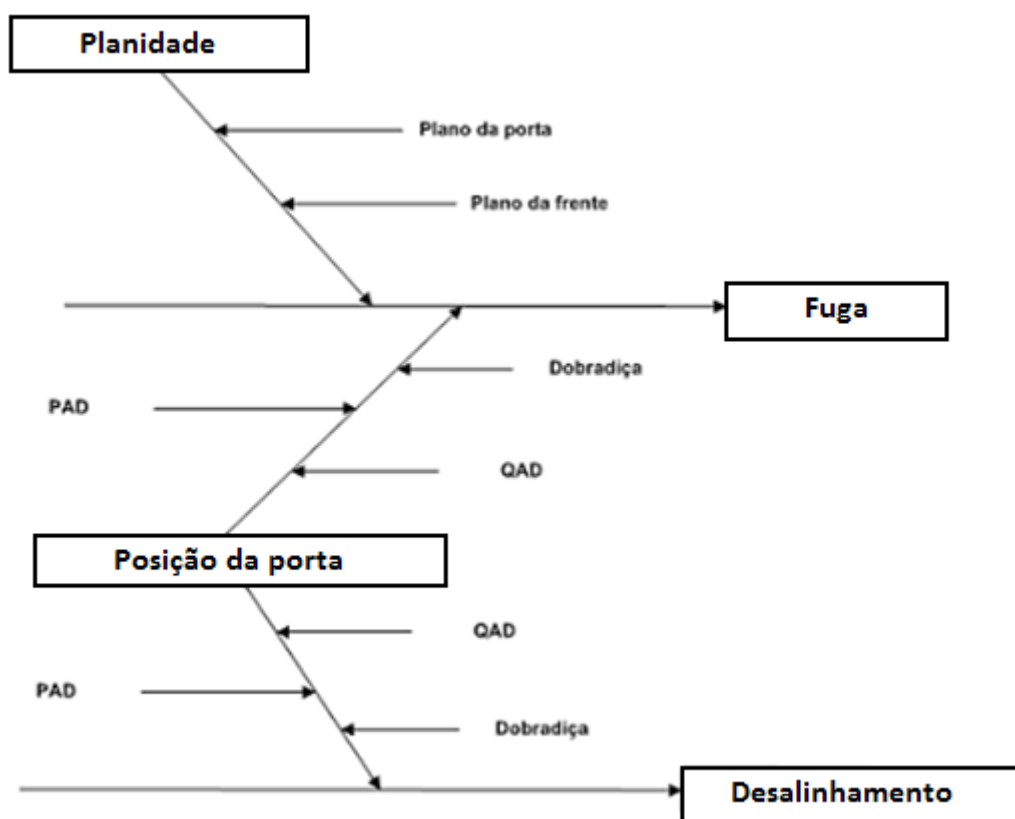


Figura 10 - Diagramas de causa-efeito para a fuga (cima) e desalinhamento (baixo)

⁶ Nota: D – relação directa; I – relação indirecta; SR – sem relação.

3.9. Variáveis em estudo

Seguidamente apresentam-se as variáveis que farão parte deste estudo.

- Plano da porta

O plano da porta é medido na estampagem que coincide com a frente do microondas quando a porta está fechada.

Este plano foi medido em 8 pontos, recorrendo a comparadores analógicos (resolução: 0,01mm) colocados num gabarit pneumático.

A cota nominal destes pontos é de 0 mm, o limite de especificação superior é de 0,1 mm e o inferior é de -0,1 mm.

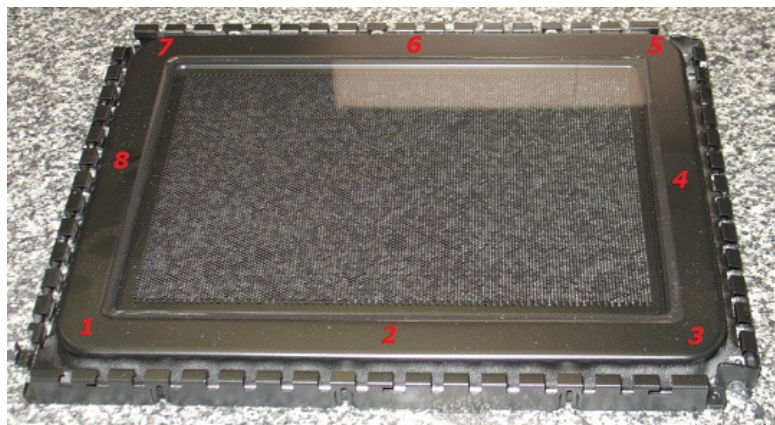


Figura 11 - Pormenor dos 8 pontos do plano da porta

- Plano da frente

O plano da frente é medido na zona que coincide com a porta do microondas quando esta está fechada. Este plano foi medido em 16 pontos, recorrendo a comparadores analógicos (resolução: 0,01mm) colocados num gabarit. Como o ponto 11 serve para estabelecer o zero absoluto da medição, foi retirado do estudo, pelo que a frente é caracterizada por 15 pontos.

De notar que a frente é uma peça constituinte da carcaça do microondas. A carcaça é elaborada através da soldadura de várias peças, entre as quais a traseira do microondas. Esta assume duas configurações, consoante a capacidade do microondas seja de 18 ou 20 litros. Estas duas peças podem induzir diferenças no plano da frente.

A cota nominal destes pontos é de 0 mm, o limite de especificação superior é de 0,1 mm e o inferior é de -0,1 mm.



Figura 12 - Pormenor dos 16 pontos do plano da frente

- QAD

A porta do microondas possui, na sua configuração, uma quinagem onde irá encaixar a dobradiça inferior. Essa quinagem foi medida recorrendo a um comparador analógico colocado no gabarit pneumático onde é medido o plano da porta.

A cota nominal deste ponto é de 0 mm, o limite de especificação superior é de 0,1 mm e o inferior é de -0,1 mm.



Figura 13 - Quinagem de assentamento da dobradiça (QAD)

- PAD

Na base do microondas existe um plano onde assenta a dobradiça inferior do microondas. Este plano foi medido em 1 ponto, recorrendo a um graminho digital (resolução: 0,01mm).

A cota nominal deste ponto é de 0 mm, o limite de especificação superior é de 0,1 mm e o inferior é de -0,1 mm.

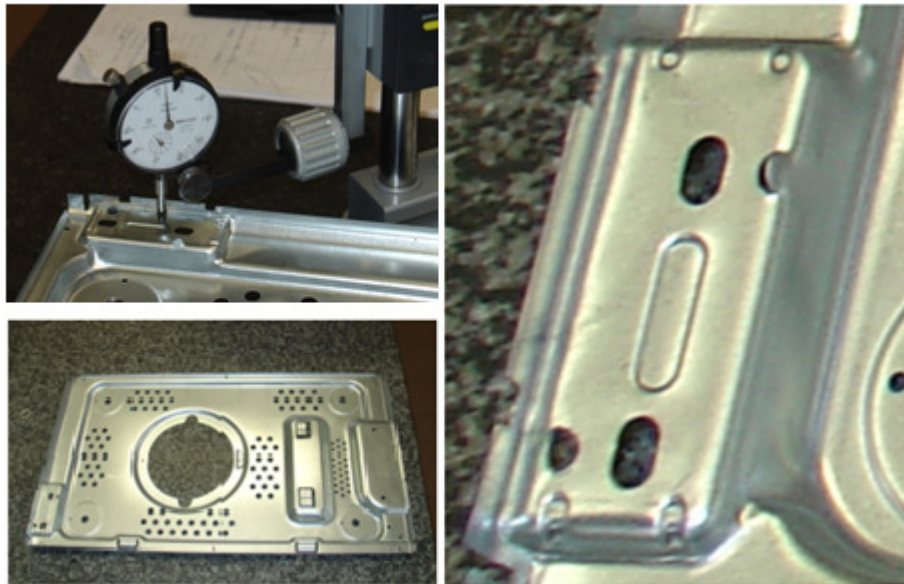


Figura 14 - Base e medição do plano de assentamento da dobradiça (PAD)

- Dobradiça

A dobradiça foi medida recorrendo a um graminho digital.

A cota nominal deste ponto é de 0 mm, o limite de especificação superior é de 0,1 mm e o inferior é de -0,1 mm.

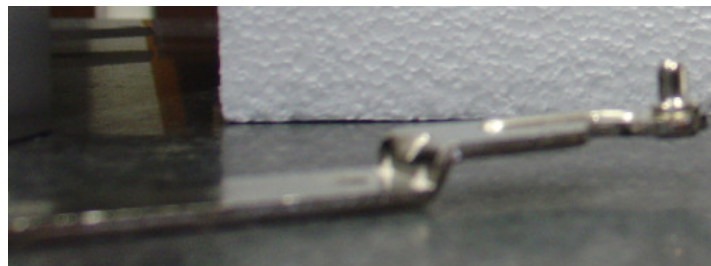
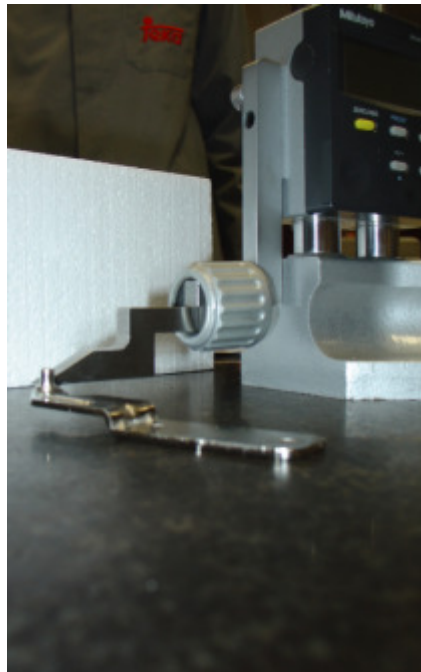


Figura 15 - Dobradiça e respectiva medição

3.10. Tratamento dos dados

Inicialmente, foram caracterizadas as diferentes variáveis em estudo, recorrendo a diversas estatísticas descritivas.

Seguidamente foi testada a existência de subgrupos na amostra recolhida, eventualmente causadas pelas diferenças de modelo em termos de capacidade. Para tal recorreu-se a análise de variância.

De seguida foi testado se a fase de montagem no posto A induzia variações significativas ao nível da frente, utilizando a análise de variância.

Foram também analisadas as amostras recolhidas e estudada a hipótese de reduzir os esforços de medição dos planos da porta e da frente.

A fase subsequente passou por averiguar a possibilidade de reduzir o número de variáveis em estudo, através da análise factorial e de variância.

Posteriormente foi explorada a construção de um modelo matemático que exprimisse a relação entre as variáveis, através da regressão linear múltipla.

3.10.1. Teste à diferença entre os microondas de 18 e de 20 litros

Nesta fase de estudo pretende-se averiguar se existem diferenças significativas entre os microondas de 18 litros e os de 20 litros, antes de passar à análise conjunta dos dados. Se tal se verificar, será pertinente considerar a hipótese de realizar o restante estudo de uma forma independente para os dois modelos.

O teste foi realizado com os dados relativos ao plano da frente, visto que é a única peça com relação de montagem com a traseira, ou seja, que pode ser influenciada por esta durante os processos de soldadura da carcaça.



Figura 16 - Diferença entre as carcaças de 18 e 20 litros

Tal foi também testado com os dados relativos ao alinhamento, para verificar como se reflecte a diferença de modelos em termos de alinhamento do forno. Análise semelhante só não foi realizada às fugas por falta de dados quantitativos desta variável nos fornos de 20 litros.

No teste da frente, foi realizada uma análise ponto a ponto. No caso do alinhamento admitiram-se as seguintes hipóteses: diferença entre pontos 3 e 5 e diferença entre pontos 4 e 6.

Na figura 17 estão representadas as medições relativas aos pontos do perfil da frente para os microondas de 18 litros e 20 litros, onde cada linha representa um forno. Na figura 18 estão representados, para os dois modelos, os dados relativos ao alinhamento 3-5 e 4-6.

Métodos estatísticos para melhoria da qualidade:
Caso de estudo

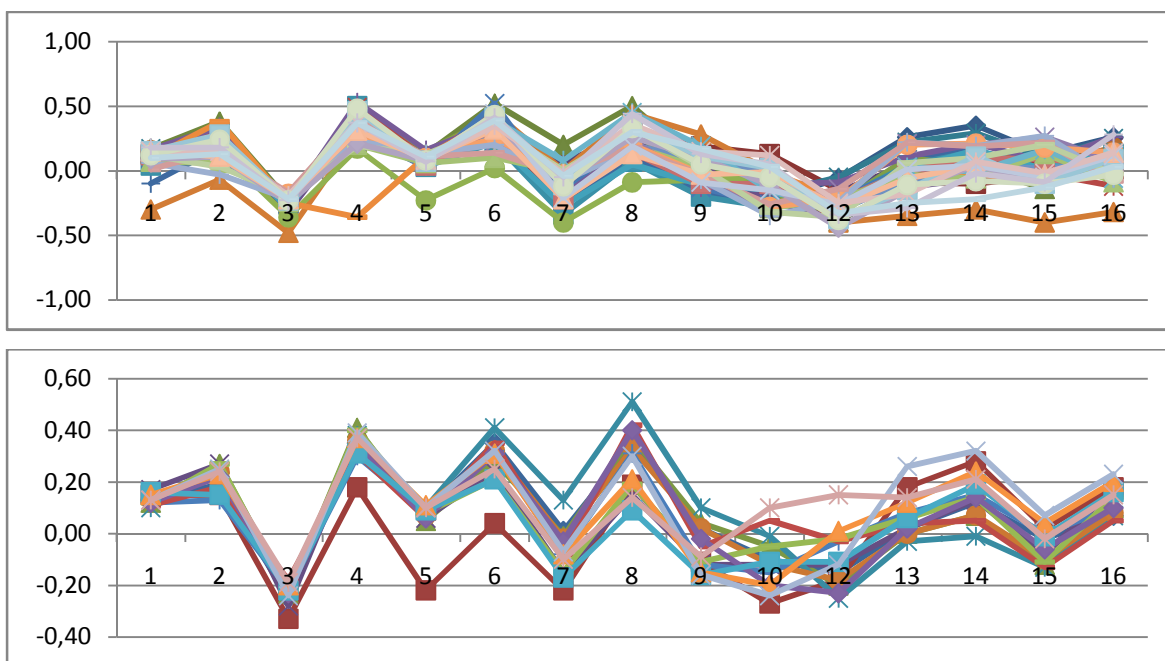


Figura 17 - Gráficos dos pontos da frente dos fornos 18L (em cima) e 20L (em baixo)

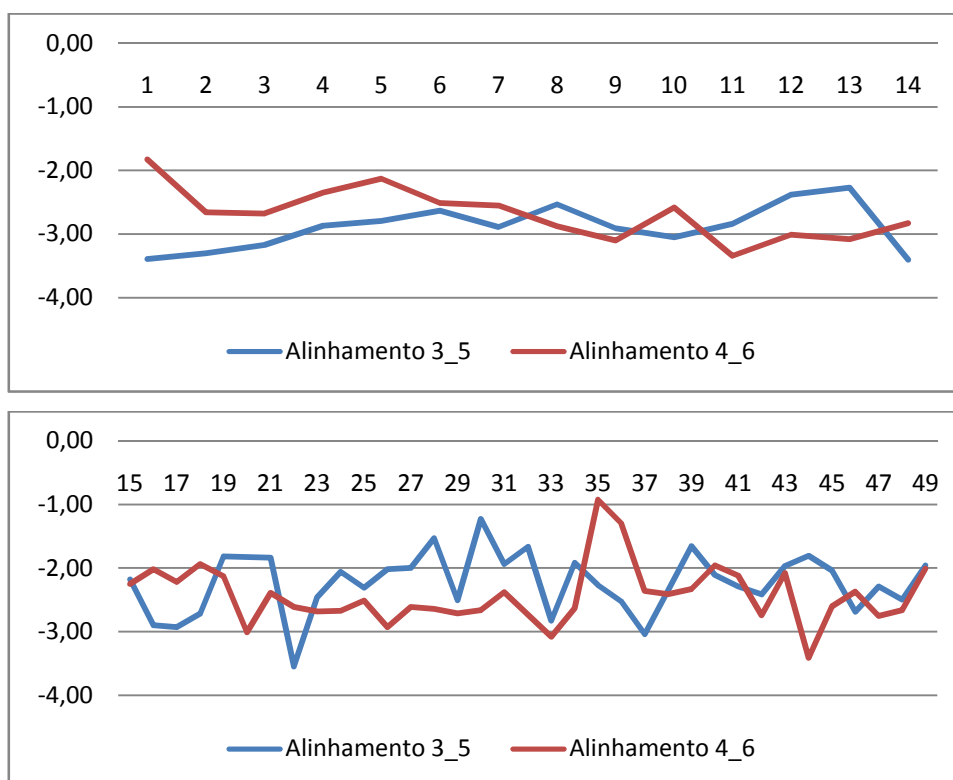


Figura 18 - Gráficos dos alinhamentos dos fornos 18L (em cima) e 20L (em baixo)

Pela análise dos gráficos representados nas figuras 17 e 18 é difícil encontrar diferenças entre os dois modelos, sendo que é necessário recorrer a testes estatísticos que investiguem a seguinte hipótese:

$$\mu_{18L} = \mu_{20L}$$

Para realizar esta análise, recorreu-se ao teste t (amostras independentes), quer para a frente, quer para o alinhamento. Os resultados do teste podem ser consultados nas tabelas 2 e 3 e revelam resultados interessantes.

Ponto	Levene	Sig (5%)
1	√	0,318
2	X	0,347
3	√	0,373
4	√	0,851
5	√	0,390
6	√	0,141
7	√	0,351
8	√	0,315
9	√	0,140
10	√	0,449
12	√	0,000
13	X	0,023
14	√	0,040
15	√	0,141
16	X	0,035

Tabela 2 - Valores de prova do teste t realizado ao perfil da frente (modelos de capacidade)⁷

⁷ Nota: √ - igualdade de variâncias assumida; X – igualdade de variâncias não assumida.

Alinhamento	Levene	Sig. (5%)
3-5	√	0,000
4-6	√	0,079

Tabela 3 - Valores de prova do teste t realizado ao alinhamento⁸

Existem alguns pontos onde são significativas as diferenças em função do modelo de 18 ou 20 litros. Para além dos pontos 12, 13, 14 e 16 do perfil da frente, também ao nível do alinhamento (3-5) existem diferenças entre os dois modelos de capacidade. Será então pertinente tratar os dados separadamente.

Assim, para este estudo serão apenas considerados os dados relativos aos microondas de 18 litros, por se tratar do subgrupo que constitui a amostra maior (N=35).

A metodologia que se apresenta é, no entanto, passível de ser aplicada ao outro conjunto de dados, relativo aos microondas de 20 litros.

3.10.2. Teste ao perfil da frente antes e depois do posto A

Aquando do início deste trabalho existia a convicção na Teka Portugal S.A. de que os processos de montagem realizados no posto A, nomeadamente a montagem da base na carcaça do forno, introduziam desvios ao nível da frente. Esta é uma hipótese perfeitamente plausível, pois a base é montada na carcaça através de parafusos directamente apertados na frente. Como o material de que é feita esta peça é mais frágil, pode perfeitamente ceder na presença de tensões provenientes do aperto de outras peças.

Com o intuito de avaliar esta hipótese, foi testado neste trabalho se essas alterações são significativas ao ponto de se poder afirmar que antes e depois do posto A se obtêm perfis diferentes.

⁸ Nota: √ - igualdade de variâncias assumida; X – igualdade de variâncias não assumida.

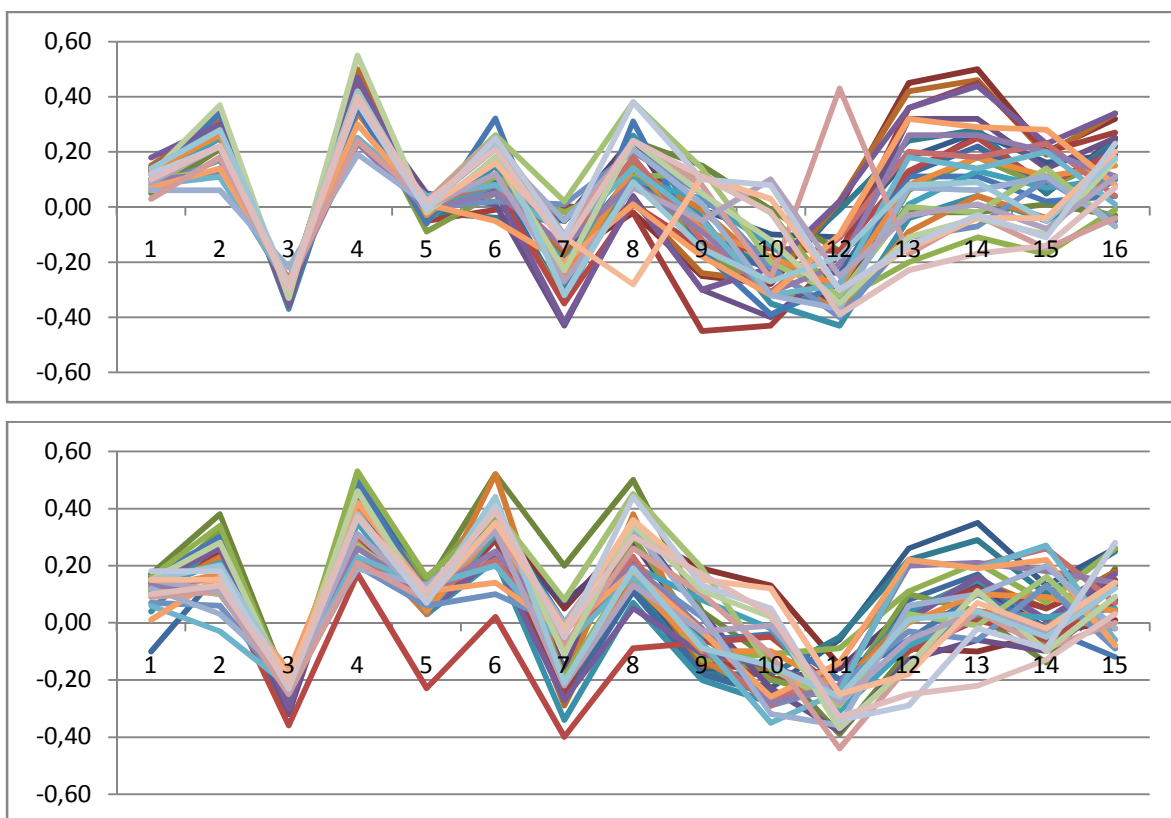


Figura 19 - Gráficos dos pontos da frente dos fornos 18L antes (em cima) e depois (em baixo) do posto A

Pela análise dos gráficos representados na figura 19 é difícil encontrar diferenças entre os dois momentos de produção, sendo que é necessário recorrer a testes estatísticos que investiguem a seguinte hipótese:

$$\mu_{Depois} - \mu_{Antes} = 0$$

Para realizar esta análise, recorreu-se ao teste t (amostras emparelhadas) para os pontos da frente. Os resultados do teste podem ser consultados na tabela 4.

Ponto	Média das diferenças	Sig (5%)
1	-0,01156	0,270
2	0,04250	0,000
3	-0,06875	0,000
4	0,01906	0,213
5	-0,08594	0,000
6	-0,20125	0,000
7	-0,06625	0,002
8	-0,09531	0,002
9	-0,04375	0,092
10	-0,06469	0,005
12	0,02969	0,403
13	0,07906	0,016
14	0,05719	0,079
15	0,03250	0,097
16	0,04500	0,035

Tabela 4 - Valores de prova do teste t realizado ao perfil da frente (momentos de produção)

Existem alguns pontos onde são significativas as diferenças em função do momento de produção: antes e depois do posto A. As diferenças são significativas nos pontos 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 13 e 16 do perfil da frente.

Assim, será correcto utilizar como referência para o estabelecimento de relações de causa efeito com os problemas de fuga as medições obtidas depois do posto A.

3.10.3. Caracterização das amostras recolhidas

- Plano da porta

De seguida estão apresentados os dados relativos ao conjunto dos 8 pontos, para as 35 portas usadas nos fornos de 18 litros.

\bar{x}	0,22 (+0,22)
s	0,09
Δ	0,74
K-S	0,000
Cp	0,37
Cpk	-0,44

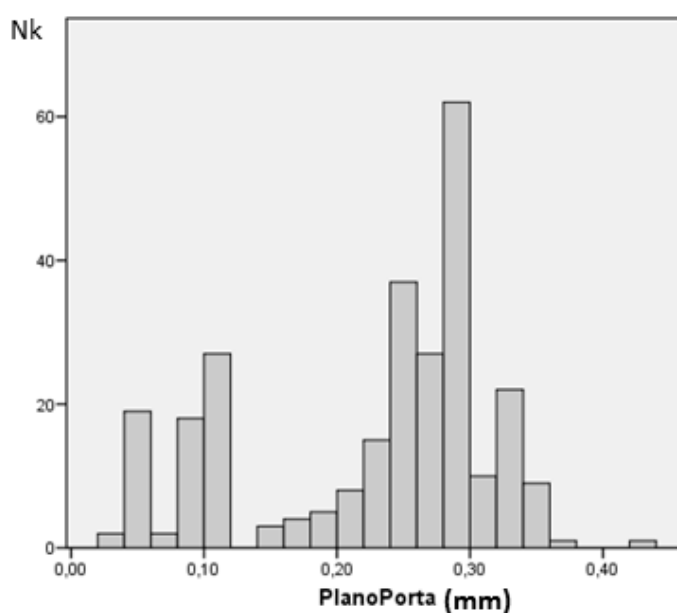


Figura 20 - Histograma dos pontos relativos ao plano da porta

Em média, o plano da porta está situado acima da cota projectada.

O histograma revela dois conjuntos de dados distintos (bimodal), provavelmente provenientes de pontos diferentes da porta. Esta distribuição pode significar a existência de grupos de pontos no plano com características semelhantes. Tal hipótese pode ser uma justificação para os pobres valores de Cpk, e será testada.

Por outro lado, o teste de normalidade revela que o conjunto dos 8 pontos não segue uma distribuição Normal.

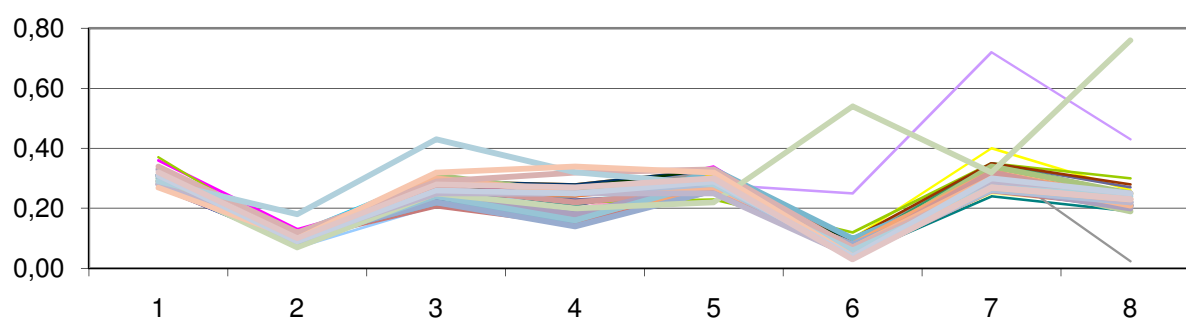


Figura 21 - Gráfico dos pontos do perfil da porta

O gráfico revela um perfil claro dos pontos, à exceção de uma das observações, que contraria essa tendência, nos pontos 6 e 8. Essa porta, usada no forno 47, será excluída das futuras análises.

A tabela seguinte apresenta de forma detalhada as estatísticas de cada ponto que define o plano da porta (N=34).

Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8
\bar{x}	0,31	0,10	0,27	0,23	0,29	0,07	0,30	0,23
IC (95%)	[0,30;0,31]	[0,10;0,11]	[0,26;0,28]	[0,21;0,25]	[0,28;0,30]	[0,06;0,07]	[0,29;0,31]	[0,21;0,24]
S	0,02	0,02	0,04	0,05	0,03	0,02	0,03	0,04
Δ	0,10	0,11	0,22	0,20	0,11	0,51	0,09	0,74
K-S	0,031	0,000	0,009	0,004	0,144	0,001	0,012	0,000
Cp	1,67	1,67	0,83	0,67	1,11	1,67	1,11	0,83
Cpk	-3,50	0,00	-1,42	-0,87	-2,11	0,50	-2,22	-1,80

Tabela 5 - Resumo de algumas estatísticas dos pontos do plano da porta

A análise da tabela 5 revela diferenças entre os pontos da porta. Os pontos 2 e 6 têm os valores médios mais baixos, e em contrapartida os pontos 1, 5 e 7 assumem as médias mais altas.

Apenas no caso do ponto 5 se pode considerar que segue uma distribuição aproximadamente Normal.

A análise dos valores da capacidade de processo revela que os pontos estão aceitavelmente estáveis visto que possuem valores de Cp razoáveis, ao contrário do que acontecia com a totalidade dos pontos. Isto revela duas conclusões: o processo é razoavelmente estável, sendo que existem diferenças entre os diferentes pontos. Assim, obtém-se uma configuração ondulada no perfil da porta e os valores de Cpk confirmam a tendência da estampagem se situar acima da cota pretendida (maioria dos Cpk é negativo).

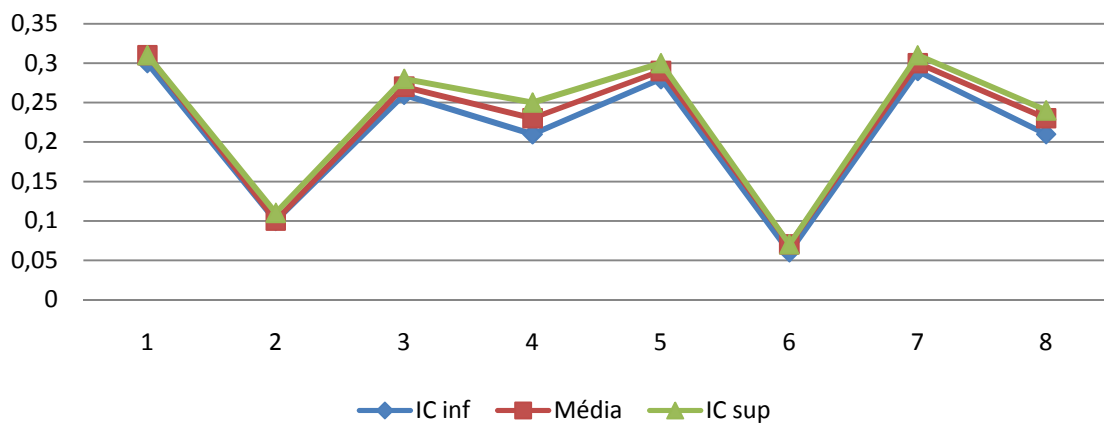


Figura 22 - Valor médio e intervalo de confiança a 95% para o perfil da porta

No gráfico da figura 22 está representado o perfil real da porta. Como se pode constatar, não existe um plano, mas uma configuração ondulada, espectável dada a complexidade da peça e da estampagem em particular.

Analisando o histograma da figura 20 e o gráfico da figura 22, detectam-se subgrupos de pontos com características significativamente diferentes. Tal suposição foi testada recorrendo a uma análise de variância a um factor – factor ponto.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2,021	7	,289	262,899	,000
Within Groups	,290	264	,001		
Total	2,311	271			

Tabela 6 - Resultado da Anova ao perfil da porta

O valor de prova da estatística de teste rejeita a hipótese nula de que as médias dos diferentes pontos são iguais.

Explorando a tabela de múltiplas comparações (ver anexo 1), identificam-se grupos de pontos que têm médias semelhantes. Um grupo reúne os pontos 4 e 8 e outro agrupa os pontos 1, 5 e 7. Os restantes pontos são independentes sendo que, porém, o ponto 3 tenha alguma afinidade com o ponto 5 não sendo possível diferenciá-los inequivocamente.

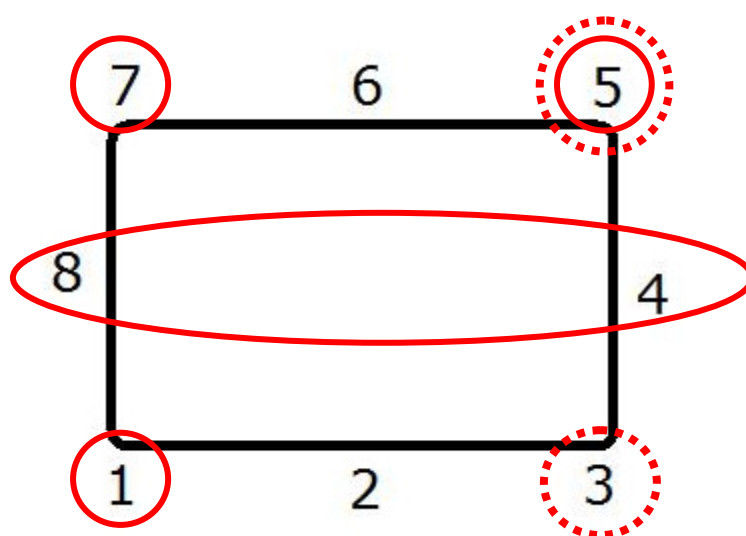


Figura 23 - Esquema dos grupos de pontos formados na Anova ao perfil da porta

Estes resultados revelam que os pontos dos cantos são muito semelhantes e estão sistematicamente situados numa cota superior, enquanto os pontos 2 e 6 têm sempre uma cota inferior. Os pontos 4 e 8 têm cotas intermédias e semelhantes entre si.

Isto significa que a porta sofre uma curvatura nas arestas, mais acentuada nas arestas maiores.

Complementando uma análise da tabela 5 com a Anova realizada ao perfil da porta, pode afirmar-se que o ponto 6 é aquele que apresenta sistematicamente a cota mais baixa, pois diferencia-se significativamente do ponto 2, sendo também aquele que é mínimo mais vezes (97% da amostra) e cujo erro associado é menor (0,03mm).

Quanto aos pontos mais altos, o mesmo tipo de análise revela 3 pontos que assumem valores máximos: pontos 1, 5 e 7. A escolha entre um destes pontos deve ser feita com algum cuidado pois os seus intervalos de confiança têm valores muito próximos.

Como se pode ver na tabela de diferenças entre os pontos candidatos a máximo e mínimo (ver anexo 2), o ponto 5 é máximo apenas por 4 vezes e quer o ponto 1 quer o ponto 7 surgem como máximos por 15 vezes na amostra, tendo no entanto o ponto 1 um erro associado ligeiramente inferior (0,05mm). Este será então seleccionado como ponto máximo.

Ao encontrar os pontos que representam sistematicamente os máximos e mínimos está-se em condições de definir a amplitude do perfil da porta, que poderá ser usada para caracterizar esta componente, de um modo mais eficiente e igualmente eficaz.

Por outro lado, para perceber como evoluem os diferentes pontos ao longo das observações, pode recorrer-se a uma análise factorial. Esta análise poderá servir para reduzir o número de variáveis em estudo.

A matriz de correlações entre os 8 pontos encontra-se no anexo 3.

Foram extraídos 3 factores que permitem explicar 66,48% da variação total do conjunto dos 8 pontos (ver tabela 7). Como se pode ver na tabela 8, o primeiro factor é explicado pelos pontos 2, 3 e 4, o segundo factor pelos pontos 1, 6 e 7 e o terceiro factor pelos pontos 5 e 8. O ponto 5 está, no entanto, dividido entre os factores 1 e 3.

Component	Initial Eigenvalues			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	2,361	29,511	29,511	2,354	29,419	29,419
2	1,800	22,501	52,012	1,800	22,501	51,920
3	1,157	14,467	66,478	1,165	14,558	66,478
4	,971	12,144	78,622			
5	,845	10,558	89,180			
6	,585	7,310	96,490			
7	,167	2,090	98,580			
8	,114	1,420	100,000			

Tabela 7 - Discriminação da variância explicada pelos factores (perfil da porta)

A matriz seguinte revela a composição de cada factor identificado na análise de componentes principais realizada em termos do peso que cada variável tem nesse mesmo factor.

	Component		
	1	2	3
Porta1	-,050	,621	-,185
Porta2	,734	-,064	-,173
Porta3	,929	,027	,106
Porta4	,861	-,022	,072
Porta5	,435	,171	-,555
Porta6	,004	,896	-,044
Porta7	,031	,757	,285
Porta8	,136	,068	,833

Tabela 8 - Matriz dos factoreses extraídos, rodados ortogonalmente (perfil da porta)

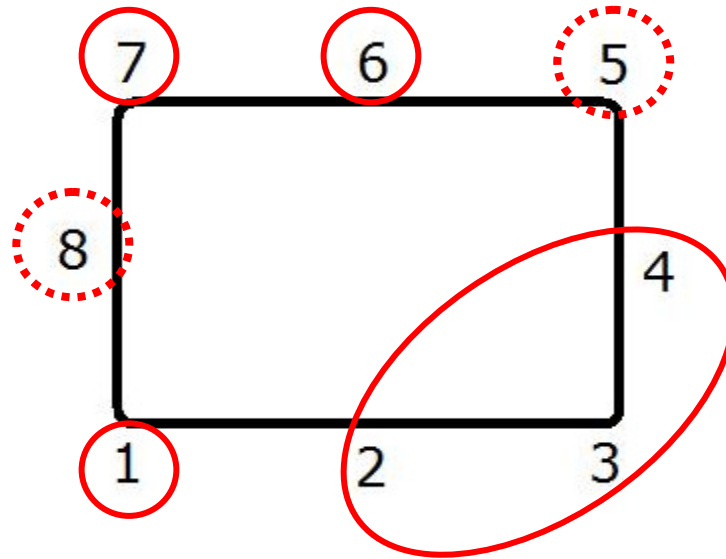


Figura 24 - Factores 1, 2 e 3 do perfil da porta

A análise de factores ao perfil da porta revela que alguns pontos adjacentes variam de um mesmo modo, o que seria de esperar.

Por outro lado, os pontos 1 e 7 estão presentes no mesmo factor, sendo que, ao escolher um deles como sendo representativo da cota máxima o erro associado será menor.

Existem duas abordagens a considerar nesta fase. A primeira prende-se com a redução dos esforços de medição. A escolha de um número inferior de pontos necessário para caracterizar univocamente a porta deve ser feita com a certeza de que tal selecção é de facto representativa dos pontos iniciais o erro a si associado é minimizado.

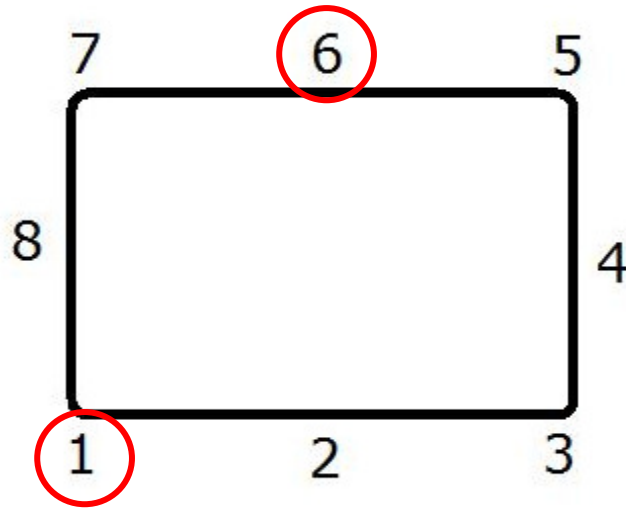


Figura 25 - Pontos máximo e mínimo do perfil da porta

Será então possível considerar que, ao medir os pontos 1 e 6 do perfil da porta, serão medidos os pontos máximo e mínimo, sendo que todos os outros pontos terão cotas intermédias.

A segunda abordagem tem o intuito de perceber a relação das peças com os problemas do produto final já referidos e passará por utilizar as combinações lineares das variáveis (pontos) nos três factores para realizar análises de regressão. Esta análise será testada mais à frente neste trabalho. Para a mesma análise propõe-se considerar também como variável representativa do perfil da porta a amplitude entre os pontos máximo e mínimo, definidos anteriormente.

▪ Plano da frente

O plano da frente é caracterizado por 15 pontos distintos, cuja cota nominal é a mesma. Para efeitos estatísticos descritivos, os 15 pontos foram tratados em conjunto.

Para a análise desta peça foram apenas considerados os 35 fornos de 18 litros.

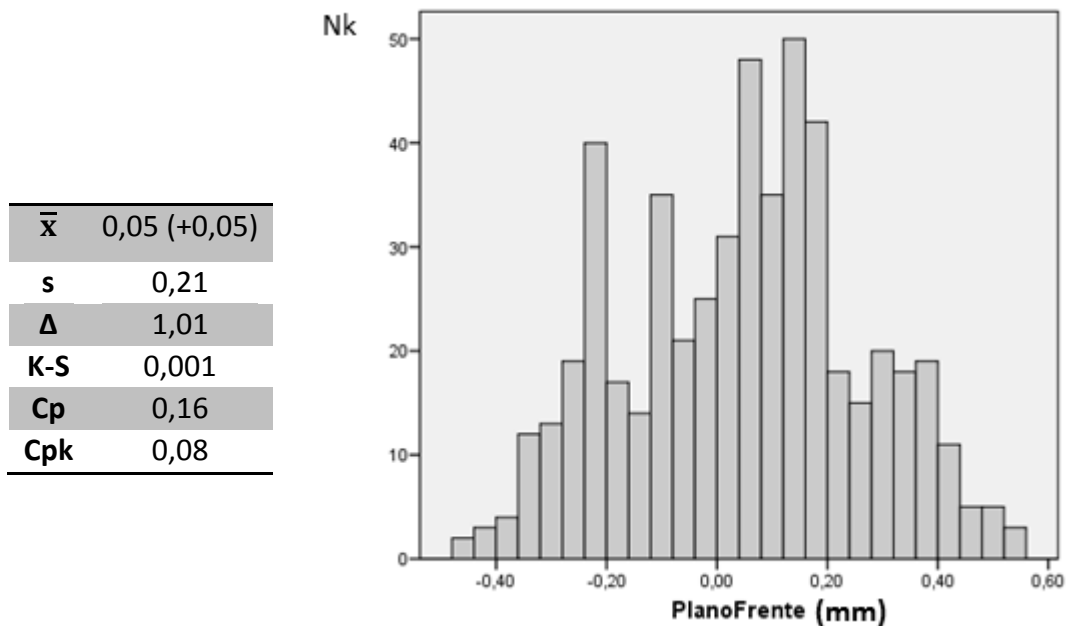


Figura 26 - Histograma dos pontos relativos ao perfil da frente

O plano da frente está, em média, situado na cota nominal, no entanto os dados revelam uma dispersão elevada em torno da média, e contribuem para os baixos valores de capacidade de processo. Estas diferenças entre os dados poderão estar relacionadas com a fragilidade da peça, mais sensível a empenos ao longo dos processos de fabrico.

O histograma revela uma tendência multimodal nos dados, pelo que a existência de padrões de dados será estudada mais à frente.

Por outro lado, o teste K-S revela que o conjunto dos 15 pontos não segue uma distribuição Normal.

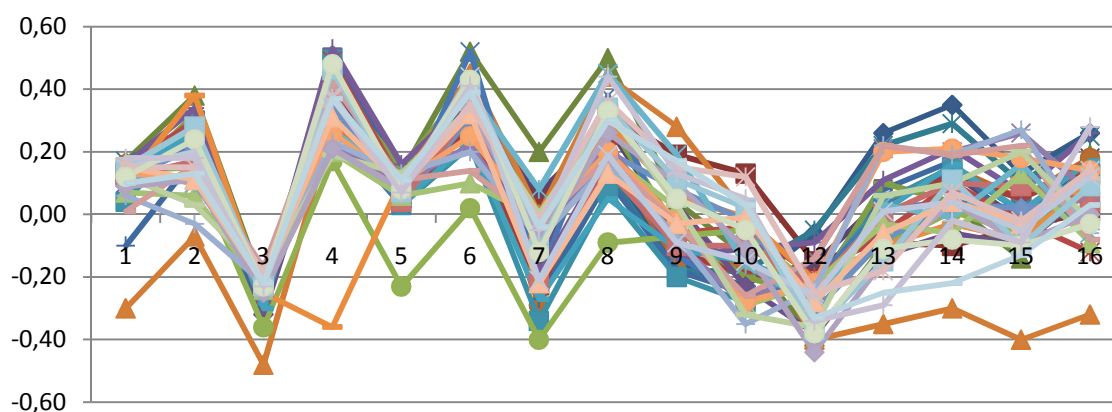


Figura 27 - Gráfico dos pontos do perfil da frente

O gráfico revela um perfil ondulado no perfil da frente e com uma dispersão elevada.

Detectam-se inclusivé duas situações que contrariam o padrão. No ponto 4, o forno 32 apresenta um valor muito dispare, assim como o forno 26 em relação aos pontos 14, 15 e 16. Estes dois fornos serão excluídos das futuras análises.

Os pontos 13, 14, 15 e 16 da frente, adjacentes, apresentam médias muito próximas ao contrário dos restantes.

Na tabela seguinte estão detalhadas as estatísticas descritivas para os 15 pontos do plano da frente (N=33).

Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8
\bar{x}	0,11	0,20	-0,25	0,33	0,08	0,33	-0,11	0,24
IC (95%)	[0,08;0,14]	[0,16;0,24]	[-0,27; -0,23]	[0,28;0,39]	[0,05;0,10]	[0,30;0,37]	[-0,16; -0,07]	[0,19;0,29]
s	0,09	0,11	0,06	0,16	0,07	0,11	0,13	0,13
Δ	0,48	0,45	0,31	0,89	0,39	0,50	0,60	0,59
K-S	0,000	0,200	0,000	0,066	0,001	0,192	0,200	0,200
Cp	0,37	0,30	0,56	0,21	0,48	0,30	0,26	0,26
Cpk	-0,04	-0,30	-0,83	-0,48	0,10	-0,70	-0,03	-0,36

Ponto	9	10	12	13	14	15	16
\bar{x}	-0,02	-0,14	-0,26	-0,01	0,06	0,00	0,08
IC (95%)	[-0,06;0,03]	[-0,18; -0,10]	[-0,29; -0,22]	[-0,06;0,04]	[0,02;0,11]	[-0,04; 0,05]	[0,03;0,12]
s	0,12	0,12	0,10	0,15	0,13	0,13	0,13
Δ	0,48	0,48	0,39	0,61	0,65	0,67	0,60
K-S	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
Cp	0,28	0,28	0,33	0,22	0,26	0,26	0,26
Cpk	0,22	-0,11	-0,53	0,20	0,10	0,26	0,05

Tabela 9 - Resumo de algumas estatísticas dos pontos do plano da frente

Na tabela 9 é possível detectar a variação que existe no perfil da frente. Existem pontos com médias na ordem dos 0,30 e outros com -0,20. Os valores dos desvios-padrão não são tão elevados quanto o relativo à totalidade dos pontos, no entanto continuam elevados relativamente, por exemplo, aos do perfil da porta. Esta variabilidade contribui negativamente para a capacidade do processo que continua baixa em cada ponto.

Quanto à normalidade dos dados, apenas os pontos 1, 3 e 5 não seguem uma distribuição Normal.

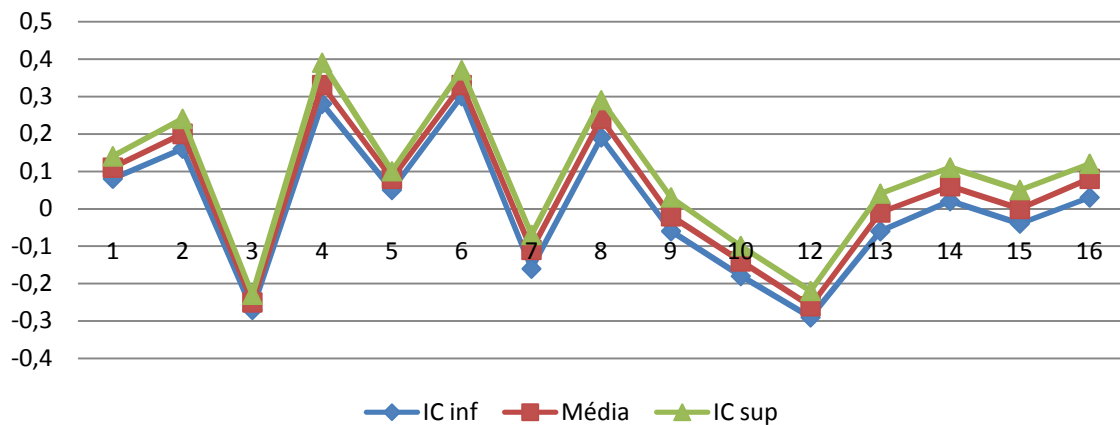


Figura 28 - Valor médio e intervalo de confiança a 95% para o perfil da frente

Como se pode constatar no gráfico, e tal como sucede no perfil da porta, ao invés de ter um plano perfeito definido no projecto mas muito difícil de alcançar, obtém-se uma forma ondulada.

Analisando o histograma da figura 26 e o gráfico da figura 28, são visíveis grupos de pontos com características semelhantes. Tal suposição foi testada recorrendo a uma análise de variância a um factor – factor ponto.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	15,806	14	1,129	80,220	,000
Within Groups	6,755	480	,014		
Total	22,562	494			

Tabela 10 - Resultado da Anova ao perfil da frente

O valor de prova da estatística de teste rejeita a hipótese nula de que as médias dos diferentes pontos são iguais.

Explorando a tabela de múltiplas comparações (ver anexo 4), identificam-se grupos de pontos que têm médias semelhantes.

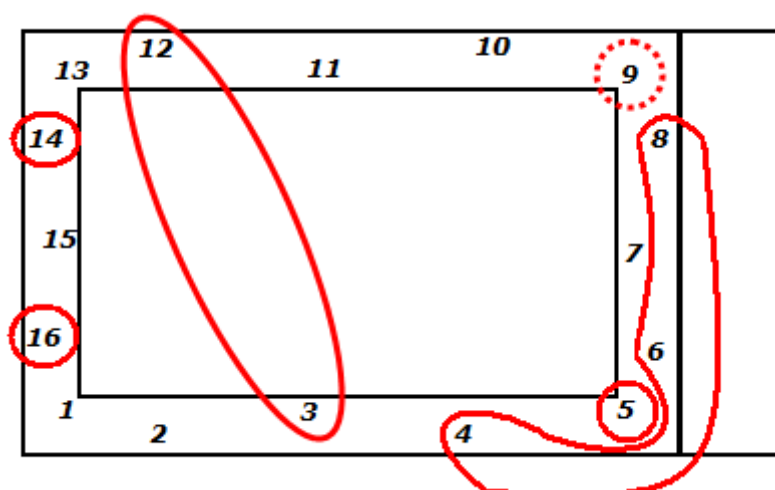


Figura 29 - Esquema dos grupos de pontos formados na Anova ao perfil da frente

Interessante constatar que os pontos com médias mais baixas (3 e 12) e mais altas (4, 6 e 8) se agrupam. Os pontos 5, 14 e 16 também estão agrupados por terem características semelhantes. O ponto 9 tem alguma afinidade com o ponto 5, no entanto distingue-se dos restantes pontos do primeiro grupo referido.

Ao encontrar os pontos que representam sistematicamente os máximos e mínimos está-se em condições de definir a amplitude do perfil da frente, que poderá ser usada para caracterizar esta componente, de um modo mais simples mas igualmente eficaz. Tal selecção deve ser feita com algum cuidado pois existem diferentes candidatos tanto para o ponto máximo como para o ponto mínimo.

O ponto mínimo será ou o ponto 3 ou o ponto 12, e o ponto máximo será um dos pontos 4, 6 ou 8.

Como se pode ver na tabela de diferenças entre os pontos candidatos a máximo e mínimo (no anexo 5), os pontos 3 e 12 são mínimos sensivelmente o mesmo número de vezes, no entanto o ponto 12 tem um erro associado menor (0,16mm). Quanto ao ponto máximo, o ponto 4 é aquele que surge mais vezes como máximo (73% das vezes) e tem o menor erro associado (0,24mm). Este será então seleccionado como ponto máximo.

Para além disso, para perceber como evoluem os diferentes pontos ao longo das observações, pode recorrer-se a uma análise factorial. Esta análise poderá servir para reduzir o número de variáveis em estudo.

A matriz de correlações entre os 15 pontos encontra-se no anexo 6.

Foram extraídos 4 factores. Assim, o primeiro factor é explicado pelos pontos 9, 10, 12, 13, 14 e 15, o segundo factor pelos pontos 5, 6, 7 e 8, o terceiro factor pelos pontos 1, 2, 3 e 16 e o quarto e último factor apenas pelo ponto 4.

Esta combinação de variáveis permite explicar 79,02% da variação total do conjunto dos 15 pontos, como se pode ver na tabela 11.

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	5,500	36,664	36,664	5,500	36,664	36,664	4,443	29,621	29,621
2	2,806	18,708	55,372	2,806	18,708	55,372	2,913	19,420	49,041
3	2,151	14,339	69,711	2,151	14,339	69,711	2,755	18,367	67,409
4	1,396	9,305	79,016	1,396	9,305	79,016	1,741	11,607	79,016
5	,802	5,346	84,362						
6	,703	4,688	89,051						
7	,485	3,235	92,285						
8	,371	2,477	94,762						
9	,265	1,765	96,526						
10	,185	1,235	97,761						
11	,149	,994	98,755						
12	,085	,569	99,324						
13	,056	,371	99,695						
14	,026	,170	99,865						
15	,020	,135	100,000						

Tabela 11 - Discriminação da variância explicada pelos factores (perfil da frente)

A matriz seguinte revela a composição de cada factor identificado na análise de componentes principais realizada em termos do peso que cada variável tem nesse mesmo factor.

	Component			
	1	2	3	4
Frente1	,152	-,040	<u>,919</u>	-,122
Frente2	-,131	,003	<u>,661</u>	,565
Frente3	,406	,369	<u>,673</u>	-,251
Frente4	,102	,031	,022	<u>,690</u>
Frente5	,232	<u>,828</u>	-,075	,210
Frente6	-,376	<u>,729</u>	,106	,380
Frente7	-,053	<u>,777</u>	,061	-,341
Frente8	-,405	<u>,829</u>	-,060	-,089
Frente9	<u>-,696</u>	,433	-,203	-,451
Frente10	<u>-,834</u>	-,018	,228	,020
Frente12	<u>,607</u>	-,210	,313	,151
Frente13	<u>,948</u>	-,027	,190	,064
Frente14	<u>,805</u>	-,153	,367	,243
Frente15	<u>,846</u>	-,027	,250	-,383
Frente16	,233	-,098	<u>,756</u>	,347

Tabela 12 - Matriz dos factores extraídos, rodados ortogonalmente (perfil da frente)

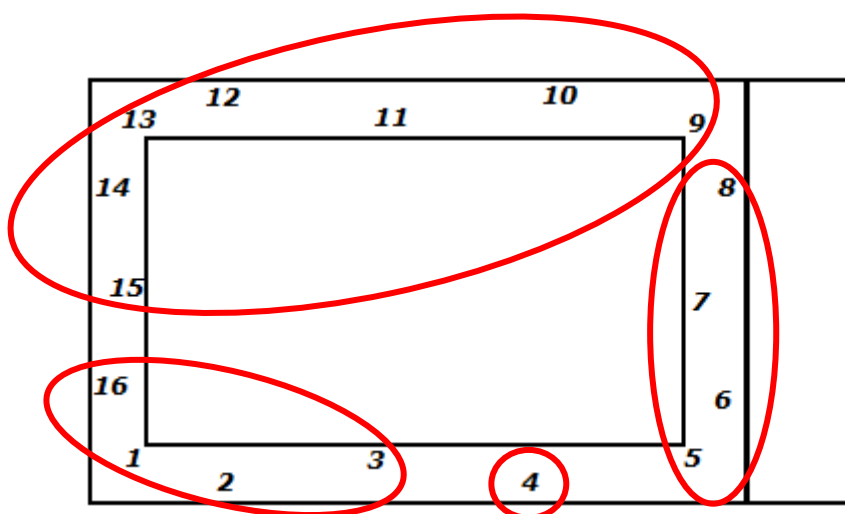


Figura 30 - Factores 1, 2, 3 e 4 do perfil da frente

A análise de factores ao perfil da porta revela que pontos adjacentes variam de um mesmo modo, o que seria de esperar. Para além disso, os factores formados sugerem que a frente está a sofrer um fenómeno de brecagem⁹.

Existem duas abordagens a considerar nesta fase, à semelhança do que foi feito em relação ao plano da porta. A primeira prende-se com a redução dos esforços de medição. A escolha de um número inferior de pontos necessário para caracterizar univocamente a frente deve ser feita com a certeza de que tal selecção é de facto representativa dos pontos iniciais o erro a si associado é minimizado.

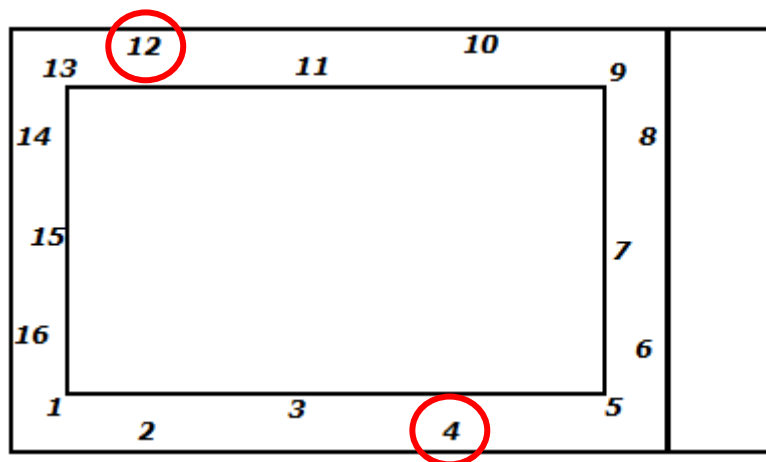


Figura 31 - Pontos máximo e mínimo do perfil da frente

Será então possível considerar que, ao medir os pontos 4 e 12 do perfil da porta, serão medidos os pontos máximo e mínimo, sendo que todos os outros pontos terão cotas intermédias.

A segunda abordagem tem o intuito de perceber a relação das peças com os problemas do produto final referidos e passará por utilizar as combinações lineares das variáveis (pontos) nos quatro factores para realizar análises de regressão. Esta análise será testada mais à frente neste trabalho. Para essa mesma análise propõe-se considerar também como variável representativa do perfil da frente a amplitude entre os pontos máximo e mínimo, definidos anteriormente.

⁹ Brecagem: fenómeno de torção, vulgarmente utilizado na indústria, que se refere à deformação de uma peça plana segundo um perfil semelhante a um losango.

▪ QAD

A quinagem de assentamento da dobradiça é medida num único ponto.

\bar{x}	-0,13 (-0,13)
IC (95%)	[-0,15; -0,11]
s	0,07
Δ	0,35
K-S	0,200
Cp	0,48
Cpk	-0,14

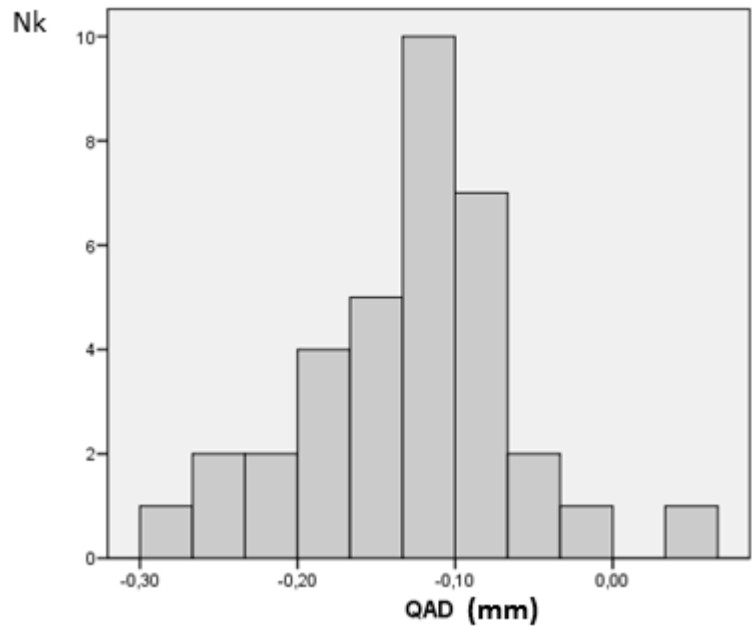


Figura 32 - Histograma dos pontos relativos ao QAD

A quinagem de assentamento da dobradiça está, em média, ligeiramente abaixo da cota projectada.

A capacidade de processo é baixa, no entanto, os dados apresentam uma distribuição Normal.

▪ PAD

O plano de assentamento da dobradiça é caracterizado por 1 ponto apenas.

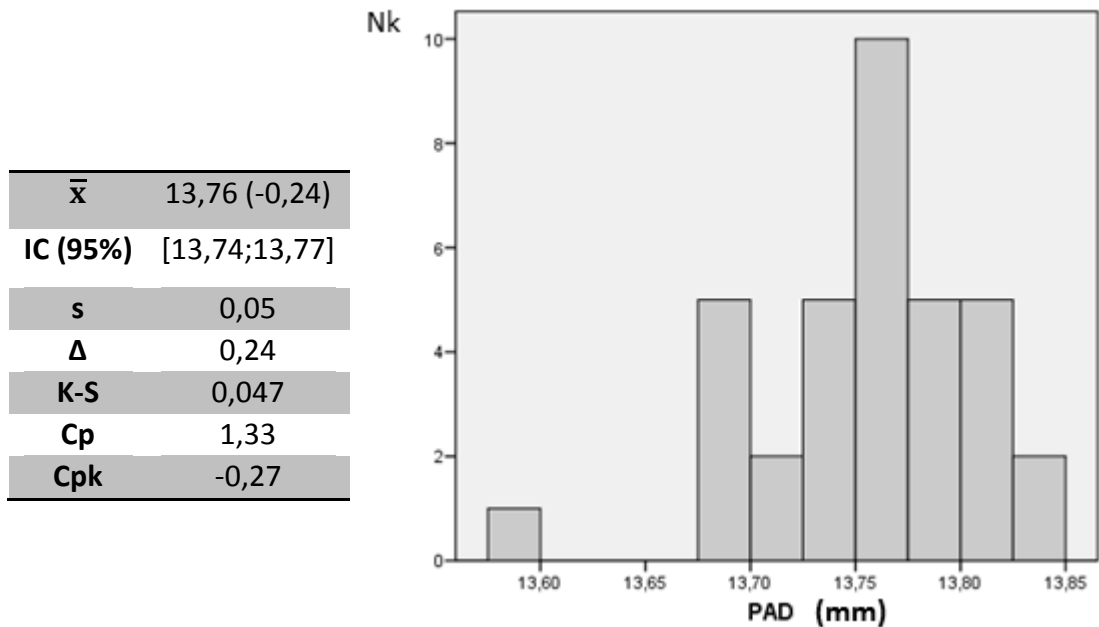


Figura 33 - Histograma dos pontos relativos ao PAD

O plano onde assenta a dobradiça na base está situado abaixo da cota nominal pretendida. Tal pode dever-se ao processo de estampagem da base.

Os dados não seguem uma distribuição Normal pelo que devem ser acauteladas as análises futuras que envolvam esta variável. Porém, a capacidade de processo é boa.

▪ Dobradiça

A dobradiça é caracterizada por uma 1 cota que irá posicionar a porta.

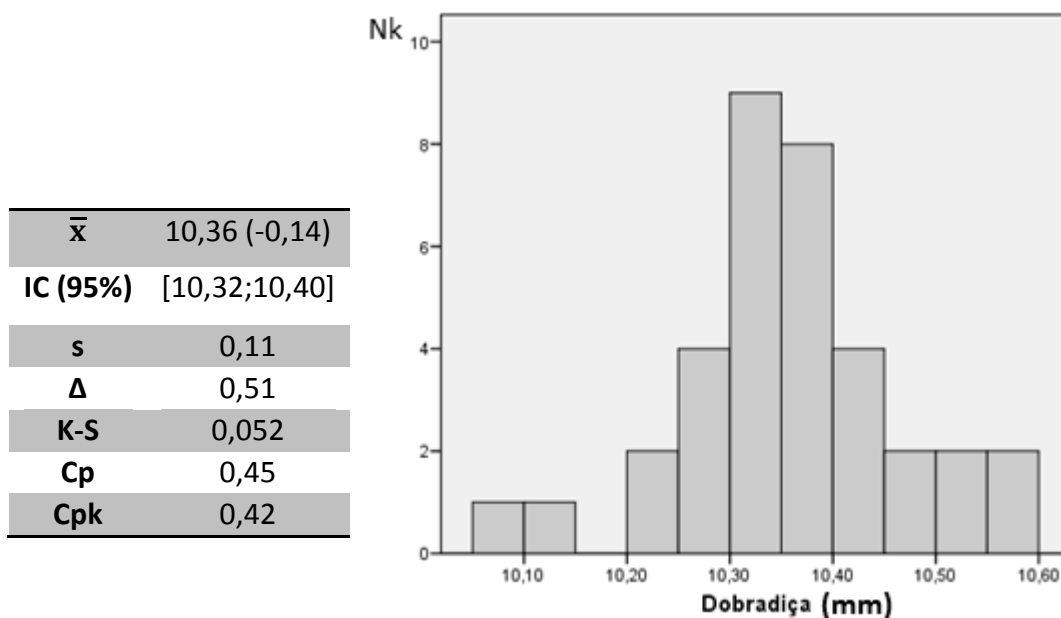


Figura 34 - Histogramas dos pontos relativos à dobradiça

A dobradiça apresenta uma cota inferior, em média, à esperada segundo o projecto. De qualquer forma, como as tolerâncias são unilaterais, a percentagem de dobradiças dentro das especificações é elevada. De qualquer forma, tal desvio pode repercutir-se na posição da porta.

Pode assumir-se que, ao nível de significância estipulado, os dados apresentam uma distribuição aproximadamente Normal.

▪ Fugas

As fugas foram medidas em 8 pontos em torno do perfil de cada forno. Neste trabalho é considerada apenas a fuga máxima em cada forno.

\bar{x}	0,34 (+0,34)
IC (95%)	[0,21;0,48]
s	0,40
Δ	1,98
K-S	0,000
Cp	1,20
Cpk	0,28

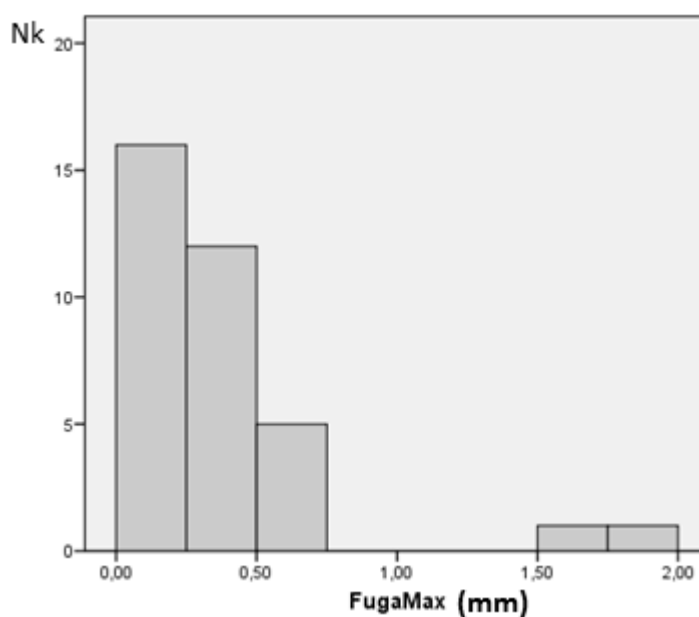


Figura 35 - Histogramas dos pontos relativos à fuga

Como se pode verificar pela análise do histograma, o número de fornos com níveis de fuga elevado é reduzido. No entanto, em média, as fugas situam-se acima do objectivo estabelecido como padrão de qualidade que é a ausência de fugas.

A distribuição das fugas é assimétrica à esquerda, sendo que a grande maioria dos fornos apresenta níveis de fuga abaixo de 1 mW/cm².

Como o desvio padrão é reduzido quando comparado com o limite de especificação (3 mW/cm²), esta característica apresenta um bom índice de capacidade.

3.10.4. Estudo da relação entre as fugas e as suas potenciais causas

Depois de perceber as características dos dados relativos a cada peça, está-se em condições de explorar as relações que essas peças têm com os problemas de fuga e alinhamento.

Como foi detalhado na secção anterior, existem diferentes abordagens na implementação desta análise.

Decidiu-se realizar 2 conjuntos de regressões lineares múltiplas. O primeiro tinha o objectivo de perceber o possível relacionamento entre a intensidade máxima das fugas de radiação microondas (variável dependente) e as variáveis definidas anteriormente (variáveis independentes) na secção 3.9.

O número de regressores numa análise de regressão está estritamente condicionado pelo número de fornos disponíveis. Seriam, inicialmente, 49 fornos, sendo que passaram a 35 com a constatação da existência de diferenças entre os modelos de 18 e 20 litros. Seguidamente, com a análise das amostras, surgiram valores fora do padrão geral (na porta e na frente), pelo que os fornos relativos a essas observações terão que ser excluídos desta fase do estudo. Esses fornos são os fornos 26, 32 e 47.

Assim sendo, o tamanho da amostra disponível para realizar esta análise é de 32 fornos ($N=32$). É aconselhável que o número de regressores não ultrapasse um quinto de N , sendo neste caso recomendado a utilização de no máximo 6 regressores. Dadas as variáveis em causa, este pressuposto torna-se sobremaneira limitador e exige alguma reserva na interpretação dos resultados obtidos. Assim, esta análise deve ser vista como um indicador de possíveis tendências reveladas nos dados.

Existem diversas variáveis para caracterizar as diferentes peças. A escolha entre uma ou outra dependerá das limitações do modelo adoptado e dos resultados obtidos. Assim, as variáveis que podem entrar neste modelo são as enumeradas de seguida.

Peças:

- Perfil da porta: 8 pontos; 3 factores; amplitude;
- Perfil da frente: 15 pontos; 4 factores; amplitude;
- QAD, PAD e dobradiça: directos.

Conjuntos:

- PAD + Dobradiça;
- QAD + Dobradiça;
- PAD + QAD;
- PAD + QAD + Dobradiça;
- Folga entre pontos correspondentes da porta e da frente.

Alinhamentos (ver figura 9):

- Alinhamento entre os pontos 2 e 4 (inclinação da porta);
- Alinhamento entre os pontos 2 e 6 (posição da porta relativamente ao painel).

De seguida são representadas as variáveis que apresentam coeficientes de correlação de Pearson mais elevados, em módulo, com o problema de fugas e de alinhamento respectivamente. Foram considerados apenas os coeficientes de correlação de Pearson superiores a 40%, em módulo.

	Fuga Máxima	
	Pearson	Pearson
Folga 4-15	0,65	0,65
Frente15	0,62	0,62
Alinhamento 2-4	-0,52	0,52
Alinhamento 4-6	0,50	0,50
Folga 5-13	0,46	0,46
Frente13	0,45	0,45
Porta4	-0,43	0,43
PortaFactor1	-0,40	0,40

Tabela 13 - Variáveis correlacionadas com os problemas de fuga

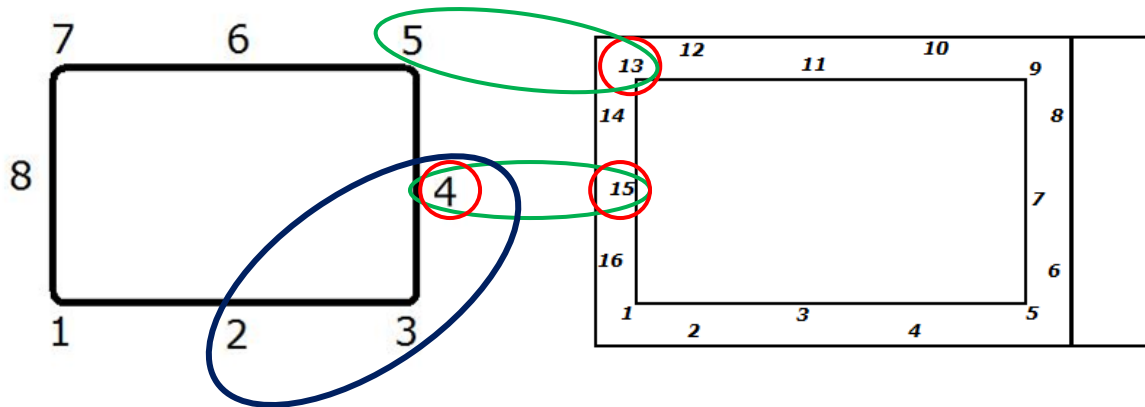


Figura 36 - Algumas variáveis correlacionadas com as fugas de radiação

Como se pode constatar na tabela 13 e na figura 36, a maioria das variáveis correlacionadas com o problema de fugas situa-se na zona lateral esquerda do forno microondas. É deste lado que está situado o eixo de rotação da porta. Para além disso, as fugas revelam uma correlação elevada com os alinhamentos entre os pontos 4 e 6 e entre os pontos 2 e 4.

Esta conjuntura sugere que o problema de fugas está intimamente relacionado com o sistema de posicionamento da porta, para além das zonas onde a porta sofre uma concavidade no seu perfil de contacto com a frente, nomeadamente no ponto 4 (ver secção 3.10.3.).

Foram realizadas quatro regressões lineares múltiplas, tendo em conta as limitações em termos de variáveis independentes impostas pelo tamanho da amostra, em que a variável dependente foi a fuga máxima e as independentes foram as indicadas seguidamente (regressão 1 a regressão 4).

Regressão 1:

Nesta regressão foram utilizadas como variáveis independentes apenas as variáveis originais, isto é, aquelas que foram medidas directamente durante a recolha de dados.

As variáveis independentes são então as seguintes:

- 8 pontos da porta;
- 15 pontos da frente;
- QAD, PAD e dobradiça;
- Pontos 2, 3, 4, 5 e 6 do alinhamento.

Na figura 37 apresentam-se os resultados da regressão obtidos com estas variáveis.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,619 ^a	,383	,362	,33244

a. Predictors: (Constant), Frente15

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	,290	,061		4,786	,000
	Frente15	2,228	,516	,619	4,315	,000

a. Dependent Variable: FugaMax

Figura 37 - Resultados da regressão linear 1 para a fuga

O modelo obtido estabelece o ponto 15 da frente como explicativo de 36,2% da variável fuga máxima.

A equação que resulta da regressão realizada é a seguinte:

$$FugaMax = 0,290 + 2,228 * Frente15$$

Regressão 2:

Nesta regressão substituem-se os pontos relativos aos perfis da porta e da frente pelas respectivas amplitudes, definidas na secção 3.9.3. As variáveis relativas ao alinhamento foram retiradas.

As variáveis independentes são então as seguintes:

- Amplitudes da porta e da frente;
- QAD, PAD e dobradiça.

Não foi encontrado qualquer modelo explicativo utilizando este conjunto de variáveis.

Regressão 3:

Nesta regressão substituem-se as amplitudes dos perfis da porta e da frente pelos respectivos factores, definidos na secção 3.10.3. As variáveis relativas ao alinhamento foram retiradas.

As variáveis independentes são então as seguintes:

- 3 factores da porta;
- 4 factores da frente;
- QAD, PAD e dobradiça.

Na figura 38 apresentam-se os resultados da regressão obtidos com estas variáveis.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,401 ^a	,161	,133	,38768

a. Predictors: (Constant), PortaFactor1

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	,352	,069		5,131	,000
	PortaFactor1	-,163	,068	-,401	-2,399	,023

a. Dependent Variable: FugaMax

Figura 38 - Resultados da regressão linear 2 para a fuga

O modelo obtido estabelece o Factor 1 da porta como explicativo de 13,3% da variação relativa à variável fuga máxima, o que não acrescenta melhorias em relação ao modelo obtido no conjunto 1.

A equação que resulta da regressão realizada é a seguinte:

$$FugaMax = 0,352 - 0,163 * PortaFactor1$$

Regressão 4:

Neste conjunto substituem-se as variáveis originais relativas aos planos da porta e da frente utilizadas no conjunto 1, pelas folgas entre os pontos correspondentes dessas mesmas duas peças. Tal foi executado porque se coloca a hipótese de, na prática, as fugas dependerem da folga e não dos pontos dos planos. No entanto, como a folga não pode ser obtida directamente, não dispensa a medição dos pontos nos perfis.

Análise similar foi feita em relação ao alinhamento, tendo sido substituídas as medições nos pontos individuais pelas diferenças entre os pontos 3 e 5 e entre os pontos 4 e 6.

As variáveis independentes são então as seguintes:

- Alinhamentos 3-5 e 4-6;
- Folgas entre pontos correspondentes da porta e da frente;
- QAD, PAD e dobradiça.

Na figura 39 apresentam-se os resultados da regressão obtidos com estas variáveis.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,650 ^a	,423	,403	,32162

a. Predictors: (Constant), Folga4_15

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	,730	,098		7,449	,000
	Folga4_15	1,854	,396	,650	4,685	,000

a. Dependent Variable: FugaMax

Figura 39 - Resultados da regressão linear 4 para a fuga

O modelo obtido estabelece a folga entre o ponto 4 da porta e o ponto 15 da frente como explicativo de 40,3% da variação relativa à variável fuga máxima, tornando-se assim no modelo que melhor explica a variável fuga.

A equação que resulta da regressão realizada é a seguinte:

$$FugaMax = 0,730 + 1,854 * Folga4_15$$

Pretendia-se realizar análise semelhante tendo como variável dependente o alinhamento, porém constatou-se que as únicas variáveis que se correlacionavam com este eram aquelas a partir das quais o mesmo era calculado. Torna-se assim inútil realizar análise de regressão para esta variável dependente.

4. Conclusões

Para fazer face às exigências do mercado é inegável a importância de garantir a qualidade dos produtos e serviços. Para atingir essa qualidade existem diferentes princípios e ferramentas que as organizações devem seguir.

Ainda que muitas das valências da gestão da qualidade possam ter um carácter subjectivo, não dispensam um suporte fidedigno de factos que retratem a realidade em que se inserem.

Assim, recolher informações das diferentes variáveis de um sistema é um passo fundamental na procura de respostas para os problemas.

A utilização de métodos estatísticos é importante para descrever o comportamento das variáveis, para inferir acerca da população de onde as amostras são retiradas, e para perceber as suas mútuas relações.

Neste trabalho foi fulcral o respeito pelos mais importantes princípios da qualidade tais como a “decisão baseada em factos” e a “gestão como um sistema” e a utilização de ferramentas de qualidade e técnicas estatísticas. Desta forma, foi possível encontrar algumas características e relações que têm influência directa na qualidade dos fornos microondas.

A primeira conclusão retirada neste estudo foi a diferença entre os microondas de 18 e de 20 litros ao nível do perfil da frente, assim como ao nível do alinhamento. Assim, estudos de âmbito estatístico devem ser realizados independentemente para os dois modelos de capacidade.

Seguidamente foi comprovado que os processos de montagem no posto A induzem alterações significativas no perfil da frente. Na investigação de causas que relacionem esta peça com os problemas de fuga, deve ter-se o cuidado de utilizar medições realizadas após o posto A, ou encontrar formas de eliminar esses desvios.

Nos que diz respeito às diferentes peças estudadas, a estampagem que dá origem ao plano da porta está, em média, num nível superior à cota nominal, pelo que a prensa que está a conformar esta peça poderá estar com os parâmetros incorrectos, ou a precisar de afinação. Para além disso, em vez de um plano perfeito obtém-se um perfil

ondulado, mais alto nos cantos e com uma curvatura nas zonas centrais. Este perfil tem uma boa capacidade e é possível definir os pontos máximo e mínimo, através dos quais se pode medir a amplitude máxima da porta – pontos 1 e 6.

Esta medição, mais rápida e igualmente eficaz, permite que o controlo desta característica seja mais eficiente do ponto de vista dos recursos necessários. A melhoria de qualidade desta característica passa por reduzir esta amplitude.

O plano da frente, por sua vez, tem uma amplitude elevada de valores. Tal poderá dever-se à fragilidade da peça que, em conjunto com as fases de montagem pelas quais esta passa – conformação, soldadura e montagem de componentes – poderá originar os desvios no plano. Será pertinente estudar a possibilidade de utilizar um material mais resistente nesta peça. Tal como acontece na porta, é possível recorrer a um par de pontos que definem a amplitude do plano – pontos 4 e 12 -, sendo possível reduzir os esforços de medição da mesma. Para além disso, a análise factorial realizada sugere que a peça esteja a sofrer um fenómeno de brecagem.

A quinagem de assentamento da dobradiça apresenta uma cota, em média, inferior à definida no projecto e tem uma baixa capacidade de processo. No entanto a sua distribuição de dados é considerada normal.

Quanto ao plano de assentamento da dobradiça na base, está estampado sempre abaixo da cota pretendida, e tal poderá dever-se a alguma falha na afinação da prensa ou desgaste da mesma. A capacidade de processo relativo a esta peça é boa.

A dobradiça está, por sua vez, dentro das tolerâncias definidas, mas sempre abaixo da cota nominal esperada. Isto poderá dever-se ou à quinagem do “corpo” da dobradiça ou ao mau cravamento da peça onde vai encaixar a porta. Como se trata de uma peça proveniente de um fornecedor, a resolução destas não-conformidades é da responsabilidade do mesmo.

Quanto à relação das peças consideradas (e das variáveis a si adjacentes) com os problemas de fugas e alinhamento foi possível, através da análise das correlações entre as variáveis, detectar algumas tendências entre os dados. Os dados sugerem que as fugas estejam relacionadas com as folgas existentes na zona lateral esquerda do forno, e com o

alinhamento da porta. Isto aponta para o facto de o sistema de posicionamento da porta contribuir também para a existência de fugas.

Foi possível estabelecer um modelo matemático explicativo do problema das fugas, sendo que, através da folga entre o ponto 4 da porta e do ponto 15 da frente (note-se que este par se situa do lado esquerdo do forno) é possível explicar cerca de 40% da variável fuga.

O alinhamento, por sua vez está relacionado com a posição e inclinação da porta.

Ao nível metodológico, é pertinente concluir acerca da importância de abordar um processo produtivo com a certeza de que o produto final é resultado de um conjunto de peças e processos que se influenciam mutuamente.

O recurso a ferramentas da qualidade e a métodos estatísticos pode revelar-se fulcral na investigação das origens dos problemas.

É importante caracterizar as peças através de estatísticas simples para se ter uma noção prévia dos resultados dos processos e de como abordar análises mais complexas. Para além disso, a evolução das tecnologias computacionais facilita o acesso a estatísticas complexas para investigar relações de causa-efeito entre diversas características inerentes a um processo de fabrico.

4.1. Perspectivas de desenvolvimento futuro

Apesar de a maior parte dos objectivos deste estudo ter sido atingido, as análises de relação entre as possíveis causas e os problemas considerados carece de confirmação dado que, tal como foi dito ao longo do trabalho, o número de variáveis consideradas foi muito elevado quando comparado com o número de fornos estudados.

Por outro lado, o número de fornos com fuga, de entre os que foram medidos, foi muito reduzido o que impediu um estudo mais aprofundado do problema de fugas.

Assim, a continuação deste estudo poderá passar por estudar apenas os fornos com níveis de fuga que impliquem a sua inutilização e que estejam em condições de serem desmontados com o propósito de estudar as peças que os constituem. Outra

solução poderá passar pelos fornos com níveis de fuga menos críticos, isto é, que sejam passíveis de ainda serem corrigidos, nos quais se poderá tentar encontrar uma característica que, ao ser medida, forneça indirectamente informação sobre as peças ou processos que os constituem, numa tentativa de caminhar a montante no processo. O facto de o alinhamento ser uma das variáveis relacionada com as fugas pode ser um suporte deste estudo.

Por outro lado, a não inclusão de variáveis importantes tais como os diferentes operadores, diferentes máquinas ou diferentes modelos de design externo pode estar a esconder algumas relações de causa-efeito entre os dados. Será pertinente, no futuro, incluir estas condicionantes num estudo deste tipo.

Referências

Bibliografia

Vasconcelos J., 2007, *“Notas de apoio às aulas de Análise de Dados”*, Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2007.

Alvelos, H., *“Notas de apoio às aulas de Gestão da Qualidade”*, Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial, Universidade de Aveiro. Aveiro, 2007.

Alvelos, H., *“Notas de apoio às aulas de Técnicas Avançadas de Gestão da Qualidade”*, Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2007.

Pereira, Z.L., Requeijo, J.G., *“Qualidade: Planeamento e controlo estatístico de processos”*, Prefácio, 2008.

Guimarães, R.C., Cabral, J.A.S., *“Estatística”*, 2ª edição, McGraw Hill, 2007.

Gryna F.M., Chua, R.C.H., DeFeo, J.A., *“Juran’s quality planning and analysis for enterprise quality”*, 5ª edição, McGraw Hill, 2007.

Crosby, P., *“Quality is free”*, New York: Mentor/New American Library, 1979.

Deming, W.E., *“Out of the crisis”*, Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study, 1984.

Kume, H., *“Métodos estatísticos para a melhoria da qualidade”*, Editora Gente, São Paulo, 1993.

Evans, J., Lindsay, W., *“The Management and Control of Quality”*, West Publishing, New York, 1993.

Hair, J.F., R.E. Anderson, R.L. Tatham e W.C. Black, *“Multivariate Data Analysis”*, Prentice Hall, 1998.

Sites Consultados

www.iso.org

www.aeportugal.pt

www.statsdirect.com

Anexos

Anexo 1 – Intervalos de confiança dos conjuntos relativos à análise de variância ao plano da porta

(I) VAR00002	(J) VAR00002	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1,00	2,00	,20471*	,00804	,000	,1801	,2293
	3,00	,03676*	,00804	,000	,0122	,0613
	4,00	,07294*	,00804	,000	,0484	,0975
	5,00	,01500	,00804	,575	-,0096	,0396
	6,00	,24000*	,00804	,000	,2154	,2646
	7,00	,00412	,00804	1,000	-,0204	,0287
	8,00	,07912*	,00804	,000	,0546	,1037
2,00	1,00	-,20471*	,00804	,000	-,2293	-,1801
	3,00	-,16794*	,00804	,000	-,1925	-,1434
	4,00	-,13176*	,00804	,000	-,1563	-,1072
	5,00	-,18971*	,00804	,000	-,2143	-,1651
	6,00	,03529*	,00804	,000	,0107	,0599
	7,00	-,20059*	,00804	,000	-,2251	-,1760
	8,00	-,12559*	,00804	,000	-,1501	-,1010
3,00	1,00	-,03676*	,00804	,000	-,0613	-,0122
	2,00	,16794*	,00804	,000	,1434	,1925
	4,00	,03618*	,00804	,000	,0116	,0607
	5,00	-,02176	,00804	,125	-,0463	,0028
	6,00	,20324*	,00804	,000	,1787	,2278
	7,00	-,03265*	,00804	,002	-,0572	-,0081
	8,00	,04235*	,00804	,000	,0178	,0669
4,00	1,00	-,07294*	,00804	,000	-,0975	-,0484
	2,00	,13176*	,00804	,000	,1072	,1563
	3,00	-,03618*	,00804	,000	-,0607	-,0116
	5,00	-,05794*	,00804	,000	-,0825	-,0334
	6,00	,16706*	,00804	,000	,1425	,1916
	7,00	-,06882*	,00804	,000	-,0934	-,0443
	8,00	,00618	,00804	,995	-,0184	,0307
5,00	1,00	-,01500	,00804	,575	-,0396	,0096
	2,00	,18971*	,00804	,000	,1651	,2143
	3,00	,02176	,00804	,125	-,0028	,0463
	4,00	,05794*	,00804	,000	,0334	,0825
	6,00	,22500*	,00804	,000	,2004	,2496
	7,00	-,01088	,00804	,877	-,0354	,0137
	8,00	,06412*	,00804	,000	,0396	,0987
6,00	1,00	-,24000*	,00804	,000	-,2646	-,2154
	2,00	-,03529*	,00804	,000	-,0599	-,0107
	3,00	-,20324*	,00804	,000	-,2278	-,1787
	4,00	-,16706*	,00804	,000	-,1916	-,1425
	5,00	-,22500*	,00804	,000	-,2496	-,2004
	7,00	-,23588*	,00804	,000	-,2604	-,2113
	8,00	-,16088*	,00804	,000	-,1854	-,1363
7,00	1,00	-,00412	,00804	1,000	-,0287	,0204
	2,00	,20059*	,00804	,000	,1760	,2251
	3,00	,03265*	,00804	,002	,0081	,0572
	4,00	,06882*	,00804	,000	,0443	,0934
	5,00	,01088	,00804	,877	-,0137	,0354
	6,00	,23588*	,00804	,000	,2113	,2604
	8,00	,07500*	,00804	,000	,0504	,0996
8,00	1,00	-,07912*	,00804	,000	-,1037	-,0546
	2,00	-,12559*	,00804	,000	-,1501	-,1010
	3,00	-,04235*	,00804	,000	-,0669	-,0178
	4,00	-,00618	,00804	,995	-,0307	,0184
	5,00	-,06412*	,00804	,000	-,0887	-,0396
	6,00	-,16088*	,00804	,000	-,1854	-,1363
	7,00	-,07500*	,00804	,000	-,0996	-,0504

Nota: Intervalos de confiança de Tukey a 95%.

Anexo 2 – Análise de amplitude do plano da porta

Forno	Δ	E 2-6	Mínimo	Emáx 2	Emáx 6	E 1-5	E 1-7	E 5-7	Máximo	Emáx 1	Emáx 5	Emáx 7
15	0,26	0,04	6			0,02	0,04	0,06	7			
16	0,23	0,02	6			0,05	0,04	0,01	1			
17	0,24	0,03	6			0,02	0,03	0,05	7			
18	0,23	0,00	6			0,02	0,02	0,04	5			
19	0,25	0,04	6			0,05	0,00	0,05	1;7			
20	0,33	0,02	6			0,01	0,02	0,03	7			
21	0,24	0,04	6			0,00	0,01	0,01	1;5			
22	0,21	0,02	6			0,00	0,00	0,00	1;5;7			
23	0,26	0,04	6			0,02	0,02	0,00	5;7			
24	0,28	0,03	2			0,14	0,02	0,12	1			
25	0,26	0,04	6			0,03	0,05	0,02	1			
26	0,25	0,02	6			0,01	0,00	0,01	5			
27	0,28	0,07	6			0,04	0,05	0,01	1			
28	0,29	0,02	6			0,06	0,04	0,10	7			
29	0,27	0,02	6			0,00	0,05	0,05	7			
30	0,25	0,02	6			0,01	0,02	0,03	5			
31	0,25	0,05	6			0,01	0,01	0,02	7			
32	0,25	0,04	6	0,12	0,03	0,01	0,01	0,00	5;7	0,05	0,14	0,06
33	0,25	0,00	6			0,00	0,05	0,05	7			
34	0,24	0,00	6			0,05	0,04	0,01	5			
35	0,28	0,04	6			0,01	0,03	0,04	7			
36	0,27	0,06	6			0,05	0,05	0,00	1			
37	0,24	0,03	6			0,02	0,01	0,03	7			
38	0,24	0,04	6			0,00	0,01	0,01	1			
39	0,27	0,02	6			0,04	0,06	0,02	1			
40	0,24	0,02	6			0,01	0,01	0,00	1			
41	0,23	0,03	6			0,02	0,01	0,03	3;7			
42	0,29	0,07	6			0,02	0,05	0,03	1			
43	0,27	0,05	6			0,02	0,01	0,01	1			
44	0,3	0,06	6			0,05	0,00	0,05	4			
45	0,37	0,12	6			0,01	0,02	0,01	3			
46	0,25	0,06	6			0,03	0,01	0,04	7			
48	0,27	0,05	6			0,01	0,06	0,05	1			
49	0,25	0,05	6			0,01	0,03	0,02	1			

Nota: E – erro máximo cometido ao escolher um ponto para máximo/mínimo não sendo efectivamente esse o ponto máximo/mínimo real.

Anexo 3 – Matriz de correlações relativas às cotas dos pontos do plano da porta

		Porta1	Porta2	Porta3	Porta4	Porta5	Porta6	Porta7	Porta8
Correlation	Porta1	1,000	,047	-,076	-,024	,044	,411	,153	,015
	Porta2	,047	1,000	<u>,692</u>	,366	,139	,064	-,194	-,052
	Porta3	-,076	,692	1,000	<u>,732</u>	,207	,037	,124	,097
	Porta4	-,024	,366	,732	1,000	,426	-,132	,096	,155
	Porta5	,044	,139	,207	,426	1,000	,163	-,022	-,151
	Porta6	,411	,064	,037	-,132	,163	1,000	<u>,567</u>	,056
	Porta7	,153	-,194	,124	,096	-,022	,567	1,000	,071
	Porta8	,015	-,052	,097	,155	-,151	,056	,071	1,000
Sig. (1-tailed)	Porta1		,396	,335	,446	,403	,008	,193	,467
	Porta2	,396		<u>,000</u>	,017	,216	,359	,136	,396
	Porta3	,335	,000		<u>,000</u>	,120	,417	,242	,292
	Porta4	,446	,017	,000		,006	,228	,295	,190
	Porta5	,403	,216	,120	,006		,179	,450	,197
	Porta6	,008	,359	,417	,228	,179		<u>,000</u>	,377
	Porta7	,193	,136	,242	,295	,450	,000		,345
	Porta8	,467	,396	,292	,190	,197	,377	,345	

Anexo 4 – Intervalos de confiança dos conjuntos relativos à análise de variância ao plano da frente

(I) VAR00002	(J) VAR00002	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1,00	2,00	-,08909	,02921	,138	-,1887	,0105
	3,00	,35848*	,02921	,000	,2589	,4581
	4,00	-,22455*	,02921	,000	-,3241	-,1250
	5,00	,03152	,02921	,999	-,0681	,1311
	6,00	-,22515*	,02921	,000	-,3247	-,1256
	7,00	,22273*	,02921	,000	,1232	,3223
	8,00	-,13121*	,02921	,001	-,2308	-,0316
	9,00	,12424*	,02921	,002	,0247	,2238
	10,00	,24727*	,02921	,000	,1477	,3468
	12,00	,36455*	,02921	,000	,2650	,4641
	13,00	,11939*	,02921	,005	,0198	,2190
	14,00	,04424	,02921	,974	-,0553	,1438
	15,00	,10394*	,02921	,031	,0044	,2035
	16,00	,03364	,02921	,998	-,0659	,1332
2,00	1,00	,08909	,02921	,138	-,0105	,1887
	3,00	,44758*	,02921	,000	,3480	,5471
	4,00	-,13545*	,02921	,000	-,2350	-,0359
	5,00	,12061*	,02921	,004	,0210	,2202
	6,00	-,13606*	,02921	,000	-,2356	-,0365
	7,00	,31182*	,02921	,000	,2123	,4114
	8,00	-,04212	,02921	,983	-,1417	,0574
	9,00	,21333*	,02921	,000	,1138	,3129
	10,00	,33636*	,02921	,000	,2368	,4359
	12,00	,45364*	,02921	,000	,3541	,5532
	13,00	,20848*	,02921	,000	,1089	,3081
	14,00	,13333*	,02921	,001	,0338	,2329
	15,00	,19303*	,02921	,000	,0935	,2926
	16,00	,12273*	,02921	,003	,0232	,2223
3,00	1,00	-,35848*	,02921	,000	-,4581	-,2589
	2,00	-,44758*	,02921	,000	-,5471	-,3480
	4,00	-,58303*	,02921	,000	-,6826	-,4835
	5,00	-,32697*	,02921	,000	-,4265	-,2274
	6,00	-,58364*	,02921	,000	-,6832	-,4841
	7,00	-,13576*	,02921	,000	-,2353	-,0362
	8,00	-,48970*	,02921	,000	-,5893	-,3901
	9,00	-,23424*	,02921	,000	-,3338	-,1347
	10,00	-,11121*	,02921	,013	-,2108	-,0116
	12,00	,00606	,02921	1,000	-,0935	,1056
	13,00	-,23909*	,02921	,000	-,3387	-,1395
	14,00	-,31424*	,02921	,000	-,4138	-,2147
	15,00	-,25455*	,02921	,000	-,3541	-,1550
	16,00	-,32485*	,02921	,000	-,4244	-,2253

Métodos estatísticos para melhoria da qualidade:
Caso de estudo

4,00	1,00	,22455*	,02921	,000	,1250	,3241
	2,00	,13545*	,02921	,000	,0359	,2350
	3,00	,58303*	,02921	,000	,4835	,6826
	5,00	,25606*	,02921	,000	,1565	,3556
	6,00	-,00061	,02921	1,000	-,1002	,0990
	7,00	,44727*	,02921	,000	,3477	,5468
	8,00	,09333	,02921	,094	-,0062	,1929
	9,00	,34879*	,02921	,000	,2492	,4484
	10,00	,47182*	,02921	,000	,3723	,5714
	12,00	,58909*	,02921	,000	,4895	,6887
	13,00	,34394*	,02921	,000	,2444	,4435
	14,00	,26879*	,02921	,000	,1692	,3684
	15,00	,32848*	,02921	,000	,2289	,4281
	16,00	,25818*	,02921	,000	,1586	,3577
5,00	1,00	-,03152	,02921	,999	-,1311	,0681
	2,00	-,12061*	,02921	,004	-,2202	-,0210
	3,00	,32697*	,02921	,000	,2274	,4265
	4,00	-,25606*	,02921	,000	-,3556	-,1565
	6,00	-,25667*	,02921	,000	-,3562	-,1571
	7,00	,19121*	,02921	,000	,0916	,2908
	8,00	-,16273*	,02921	,000	-,2623	-,0632
	9,00	,09273	,02921	,099	-,0068	,1923
	10,00	,21576*	,02921	,000	,1162	,3153
	12,00	,33303*	,02921	,000	,2335	,4326
	13,00	,08788	,02921	,154	-,0117	,1874
	14,00	,01273	,02921	1,000	-,0868	,1123
	15,00	,07242	,02921	,457	-,0271	,1720
	16,00	,00212	,02921	1,000	-,0974	,1017
6,00	1,00	,22515*	,02921	,000	,1256	,3247
	2,00	,13606*	,02921	,000	,0365	,2356
	3,00	,58364*	,02921	,000	,4841	,6832
	4,00	,00061	,02921	1,000	-,0990	,1002
	5,00	,25667*	,02921	,000	,1571	,3562
	7,00	,44788*	,02921	,000	,3483	,5474
	8,00	,09394	,02921	,088	-,0056	,1935
	9,00	,34939*	,02921	,000	,2498	,4490
	10,00	,47242*	,02921	,000	,3729	,5720
	12,00	,58970*	,02921	,000	,4901	,6893
	13,00	,34455*	,02921	,000	,2450	,4441
	14,00	,26939*	,02921	,000	,1698	,3690
	15,00	,32909*	,02921	,000	,2295	,4287
	16,00	,25879*	,02921	,000	,1592	,3584

Métodos estatísticos para melhoria da qualidade:
Caso de estudo

7,00	1,00	-,22273*	,02921	,000	-,3223	-,1232
	2,00	-,31182*	,02921	,000	-,4114	-,2123
	3,00	,13576*	,02921	,000	,0362	,2353
	4,00	-,44727*	,02921	,000	-,5468	-,3477
	5,00	-,19121*	,02921	,000	-,2908	-,0916
	6,00	-,44788*	,02921	,000	-,5474	-,3483
	8,00	-,35394*	,02921	,000	-,4535	-,2544
	9,00	-,09848	,02921	,056	-,1981	,0011
	10,00	,02455	,02921	1,000	-,0750	,1241
	12,00	,14182*	,02921	,000	,0423	,2414
	13,00	-,10333*	,02921	,033	-,2029	-,0038
	14,00	-,17848*	,02921	,000	-,2781	-,0789
	15,00	-,11879*	,02921	,005	-,2184	-,0192
	16,00	-,18909*	,02921	,000	-,2887	-,0895
8,00	1,00	,13121*	,02921	,001	,0316	,2308
	2,00	,04212	,02921	,983	-,0574	,1417
	3,00	,48970*	,02921	,000	,3901	,5893
	4,00	-,09333	,02921	,094	-,1929	,0062
	5,00	,16273*	,02921	,000	,0632	,2623
	6,00	-,09394	,02921	,088	-,1935	,0056
	7,00	,35394*	,02921	,000	,2544	,4535
	9,00	,25545*	,02921	,000	,1559	,3550
	10,00	,37848*	,02921	,000	,2789	,4781
	12,00	,49576*	,02921	,000	,3962	,5953
	13,00	,25061*	,02921	,000	,1510	,3502
	14,00	,17545*	,02921	,000	,0759	,2750
	15,00	,23515*	,02921	,000	,1356	,3347
	16,00	,16485*	,02921	,000	,0653	,2644
9,00	1,00	-,12424*	,02921	,002	-,2238	-,0247
	2,00	-,21333*	,02921	,000	-,3129	-,1138
	3,00	,23424*	,02921	,000	,1347	,3338
	4,00	-,34879*	,02921	,000	-,4484	-,2492
	5,00	-,09273	,02921	,099	-,1923	,0068
	6,00	-,34939*	,02921	,000	-,4490	-,2498
	7,00	,09848	,02921	,056	-,0011	,1981
	8,00	-,25545*	,02921	,000	-,3550	-,1559
	10,00	,12303*	,02921	,003	,0235	,2226
	12,00	,24030*	,02921	,000	,1407	,3399
	13,00	-,00485	,02921	1,000	-,1044	,0947
	14,00	-,08000	,02921	,285	-,1796	,0196
	15,00	-,02030	,02921	1,000	-,1199	,0793
	16,00	-,09061	,02921	,121	-,1902	,0090

Métodos estatísticos para melhoria da qualidade:
Caso de estudo

10,00	1,00	-,24727*	,02921	,000	-,3468	-,1477
	2,00	-,33636*	,02921	,000	-,4359	-,2368
	3,00	,11121*	,02921	,013	,0116	,2108
	4,00	-,47182*	,02921	,000	-,5714	-,3723
	5,00	-,21576*	,02921	,000	-,3153	-,1162
	6,00	-,47242*	,02921	,000	-,5720	-,3729
	7,00	-,02455	,02921	1,000	-,1241	,0750
	8,00	-,37848*	,02921	,000	-,4781	-,2789
	9,00	-,12303*	,02921	,003	-,2226	-,0235
	12,00	,11727*	,02921	,006	,0177	,2168
	13,00	-,12788*	,02921	,001	-,2274	-,0283
	14,00	-,20303*	,02921	,000	-,3026	-,1035
	15,00	-,14333*	,02921	,000	-,2429	-,0438
	16,00	-,21364*	,02921	,000	-,3132	-,1141
12,00	1,00	-,36455*	,02921	,000	-,4641	-,2650
	2,00	-,45364*	,02921	,000	-,5532	-,3541
	3,00	-,00606	,02921	1,000	-,1056	,0935
	4,00	-,58909*	,02921	,000	-,6887	-,4895
	5,00	-,33303*	,02921	,000	-,4326	-,2335
	6,00	-,58970*	,02921	,000	-,6893	-,4901
	7,00	-,14182*	,02921	,000	-,2414	-,0423
	8,00	-,49576*	,02921	,000	-,5953	-,3962
	9,00	-,24030*	,02921	,000	-,3399	-,1407
	10,00	-,11727*	,02921	,006	-,2168	-,0177
	13,00	-,24515*	,02921	,000	-,3447	-,1456
	14,00	-,32030*	,02921	,000	-,4199	-,2207
	15,00	-,26061*	,02921	,000	-,3602	-,1610
	16,00	-,33091*	,02921	,000	-,4305	-,2313
13,00	1,00	-,11939*	,02921	,005	-,2190	-,0198
	2,00	-,20848*	,02921	,000	-,3081	-,1089
	3,00	,23909*	,02921	,000	,1395	,3387
	4,00	-,34394*	,02921	,000	-,4435	-,2444
	5,00	-,08788	,02921	,154	-,1874	,0117
	6,00	-,34455*	,02921	,000	-,4441	-,2450
	7,00	,10333*	,02921	,033	,0038	,2029
	8,00	-,25061*	,02921	,000	-,3502	-,1510
	9,00	,00485	,02921	1,000	-,0947	,1044
	10,00	,12788*	,02921	,001	,0283	,2274
	12,00	,24515*	,02921	,000	,1456	,3447
	14,00	-,07515	,02921	,391	-,1747	,0244
	15,00	-,01545	,02921	1,000	-,1150	,0841
	16,00	-,08576	,02921	,184	-,1853	,0138

Métodos estatísticos para melhoria da qualidade:
Caso de estudo

14,00	1,00	-,04424	,02921	,974	-,1438	,0553
	2,00	-,13333*	,02921	,001	-,2329	-,0338
	3,00	,31424*	,02921	,000	,2147	,4138
	4,00	-,26879*	,02921	,000	-,3684	-,1692
	5,00	-,01273	,02921	1,000	-,1123	,0868
	6,00	-,26939*	,02921	,000	-,3690	-,1698
	7,00	,17848*	,02921	,000	,0789	,2781
	8,00	-,17545*	,02921	,000	-,2750	-,0759
	9,00	,08000	,02921	,285	-,0196	,1796
	10,00	,20303*	,02921	,000	,1035	,3026
	12,00	,32030*	,02921	,000	,2207	,4199
	13,00	,07515	,02921	,391	-,0244	,1747
	15,00	,05970	,02921	,771	-,0399	,1593
	16,00	-,01061	,02921	1,000	-,1102	,0890
15,00	1,00	-,10394*	,02921	,031	-,2035	-,0044
	2,00	-,19303*	,02921	,000	-,2926	-,0935
	3,00	,25455*	,02921	,000	,1550	,3541
	4,00	-,32848*	,02921	,000	-,4281	-,2289
	5,00	-,07242	,02921	,457	-,1720	,0271
	6,00	-,32909*	,02921	,000	-,4287	-,2295
	7,00	,11879*	,02921	,005	,0192	,2184
	8,00	-,23515*	,02921	,000	-,3347	-,1356
	9,00	,02030	,02921	1,000	-,0793	,1199
	10,00	,14333*	,02921	,000	,0438	,2429
	12,00	,26061*	,02921	,000	,1610	,3602
	13,00	,01545	,02921	1,000	-,0841	,1150
	14,00	-,05970	,02921	,771	-,1593	,0399
	16,00	-,07030	,02921	,511	-,1699	,0293
16,00	1,00	-,03364	,02921	,998	-,1332	,0659
	2,00	-,12273*	,02921	,003	-,2223	-,0232
	3,00	,32485*	,02921	,000	,2253	,4244
	4,00	-,25818*	,02921	,000	-,3577	-,1586
	5,00	-,00212	,02921	1,000	-,1017	,0974
	6,00	-,25879*	,02921	,000	-,3584	-,1592
	7,00	,18909*	,02921	,000	,0895	,2887
	8,00	-,16485*	,02921	,000	-,2644	-,0653
	9,00	,09061	,02921	,121	-,0090	,1902
	10,00	,21364*	,02921	,000	,1141	,3132
	12,00	,33091*	,02921	,000	,2313	,4305
	13,00	,08576	,02921	,184	-,0138	,1853
	14,00	,01061	,02921	1,000	-,0890	,1102
	15,00	,07030	,02921	,511	-,0293	,1699

Nota: Intervalos de confiança de Tukey a 95%.

Anexo 5 – Análise de amplitude ao plano da frente

Forno	Δ	$ E $ 3-12	Mínimo	Emáx 3	Emáx 12	$ E $ 4-6	$ E $ 4-8	$ E $ 6-8	Máximo	Emáx 4	Emáx 6	Emáx 8
15	0,61	0,14	3			0,05	0,23	0,18	4			
16	0,59	0,07	3			0,00	0,05	0,05	4;6			
17	0,91	0,16	12			0,14	0,12	0,02	6			
18	0,68	0,11	3			0,12	0,13	0,01	4			
19	0,68	0,16	3			0,10	0,34	0,24	4			
20	0,64	0,02	3			0,03	0,16	0,13	4			
21	0,82	0,08	3			0,20	0,39	0,19	4			
22	0,58	0,01	12			0,01	0,07	0,06	4			
23	0,68	0,04	12			0,00	0,12	0,12	4;6			
24	0,76	0,06	12			0,02	0,03	0,01	4			
25	0,84	0,03	3			0,28	0,43	0,15	4			
27	0,78	0,04	3			0,24	0,10	0,14	6			
28	0,75	0,06	3			0,14	0,35	0,21	4			
29	0,57	0,12	3			0,15	0,26	0,11	4			
30	0,78	0,16	3			0,16	0,34	0,18	4			
31	0,75	0,06	3			0,22	0,40	0,18	4			
33	0,66	0,08	12	0,19	0,16	0,04	0,15	0,11	4	0,24	0,28	0,43
34	0,63	0,01	3			0,06	0,25	0,19	4			
35	0,49	0,02	3			0,10	0,01	0,09	4			
36	0,55	0,08	3			0,01	0,00	0,01	4;8			
37	0,74	0,08	12			0,12	0,18	0,06	8			
38	0,54	0,04	12			0,01	0,06	0,05	4			
39	0,62	0,02	12			0,03	0,07	0,04	4			
40	0,68	0,03	3			0,28	0,24	0,04	4			
41	0,70	0,17	12			0,15	0,14	0,01	6			
42	0,78	0,19	12			0,13	0,05	0,08	6			
43	0,83	0,14	12			0,05	0,12	0,07	4			
44	0,60	0,06	12			0,01	0,18	0,19	6			
45	0,70	0,06	12			0,06	0,19	0,25	6			
46	0,62	0,06	12			0,02	0,01	0,01	4			
47	0,86	0,15	12			0,05	0,15	0,10	4			
48	0,78	0,11	12			0,04	0,07	0,03	8			
49	0,72	0,11	12			0,02	0,07	0,09	6			

Nota: E – erro máximo cometido ao escolher um ponto para máximo/mínimo não sendo efectivamente esse o ponto máximo/mínimo real.

Anexo 6 – Matriz de correlações relativas às cotas dos pontos do plano da frente

		Frente1	Frente2	Frente3	Frente4	Frente5	Frente6	Frente7	Frente8	Frente9	Frente10	Frente12	Frente13	Frente14	Frente15	Frente16
Correlation	Frente1	1,000	,484	<u>,710</u>	,066	-,111	-,037	,006	-,106	-,267	,021	,260	,290	,414	,445	<u>,635</u>
	Frente2	,484	1,000	,180	,207	,040	,324	-,110	-,009	-,320	,185	,259	,069	,249	-,185	<u>,590</u>
	Frente3	,710	,180	1,000	,015	,334	,110	,281	,052	-,152	-,167	,244	,465	,415	<u>,617</u>	,415
	Frente4	,066	,207	,015	1,000	,119	,125	-,154	-,104	-,264	-,001	,081	,101	,231	-,085	,214
	Frente5	-,111	,040	,334	,119	1,000	<u>,533</u>	,469	,480	,126	-,135	-,010	,165	,061	,072	,002
	Frente6	-,037	,324	,110	,125	,533	1,000	,369	<u>,740</u>	,320	,328	-,280	-,301	-,274	-,447	-,002
	Frente7	,006	-,110	,281	-,154	,469	,369	1,000	<u>,673</u>	<u>,564</u>	,070	-,080	-,062	-,182	,021	-,112
	Frente8	-,106	-,009	,052	-,104	,480	,740	,673	1,000	<u>,667</u>	,199	-,490	-,421	-,496	-,323	-,217
	Frente9	-,267	-,320	-,152	-,264	,126	,320	,564	,667	1,000	<u>,585</u>	<u>,599</u>	<u>,726</u>	<u>,790</u>	-,464	<u>,507</u>
	Frente10	,021	,185	-,167	-,001	-,135	,328	,070	,199	,585	1,000	-,233	<u>,726</u>	<u>,546</u>	<u>,633</u>	-,061
	Frente12	,260	,259	,244	,081	-,010	-,280	-,080	-,490	-,599	-,233	1,000	<u>,701</u>	<u>,616</u>	<u>,519</u>	,399
	Frente13	,290	,069	,465	,101	,165	-,301	-,062	-,421	-,726	-,726	,701	1,000	<u>,851</u>	<u>,807</u>	,368
	Frente14	,414	,249	,415	,231	,061	-,274	-,182	-,496	-,790	-,546	,616	,851	1,000	<u>,675</u>	<u>,598</u>
	Frente15	,445	-,185	,617	-,085	,072	-,447	,021	-,323	-,464	-,633	,519	,807	,675	1,000	,204
	Frente16	,635	,590	,415	,214	,002	-,002	-,112	-,217	-,507	-,061	,399	,368	,598	,204	1,000
Sig. (1-tailed)	Frente1		,002	<u>,000</u>	,357	,269	,419	,486	,279	,067	,454	,072	,051	,008	,005	<u>,000</u>
	Frente2			,158	,124	,412	,033	,271	,480	,035	,151	,073	,351	,081	,151	<u>,000</u>
	Frente3				,467	,029	,272	,056	,386	,199	,176	,086	,003	,008	<u>,000</u>	,008
	Frente4					,256	,245	,197	,283	,068	,497	,327	,289	,098	,319	,116
	Frente5						<u>,001</u>	,003	,002	,243	,227	,479	,179	,368	,346	,496
	Frente6							,017	<u>,000</u>	,035	,031	,057	,045	,061	,005	,496
	Frente7								<u>,000</u>	<u>,000</u>	,349	,329	,366	,155	,454	,267
	Frente8									<u>,000</u>	,133	,002	,007	,002	,033	,113
	Frente9										<u>,000</u>	<u>,000</u>	<u>,000</u>	<u>,000</u>	,003	<u>,001</u>
	Frente10											,096	<u>,000</u>	<u>,001</u>	<u>,000</u>	,368
	Frente12												<u>,000</u>	<u>,000</u>	<u>,001</u>	,011
	Frente13													<u>,000</u>	<u>,000</u>	,018
	Frente14														<u>,000</u>	<u>,000</u>
	Frente15															,128
	Frente16															

Anexo 7 – Dados recolhidos

Forno	Capacidade	Frete - Antes do posto A														
1	20 L	0,29	0,25	-0,31	0,34	-0,02	0,07	-0,15	0,17	-0,08	-0,18	-0,12	0,14	0,20	-0,05	0,12
2	20 L	0,10	0,22	-0,27	0,33	-0,03	0,15	-0,07	0,34	-0,04	-0,15	-0,08	0,16	0,20	0,01	0,12
3	20 L	0,12	0,24	-0,28	0,33	-0,02	0,00	-0,15	0,12	-0,08	-0,22	-0,18	0,14	0,24	-0,01	0,17
4	20 L	0,08	0,24	-0,29	0,35	-0,01	0,15	-0,09	0,38	-0,01	-0,23	-0,25	0,12	0,24	-0,03	0,13
5	20 L	0,10	0,27	-0,26	0,37	0,02	0,18	-0,08	0,25	-0,07	-0,22	0,07	0,25	0,35	0,09	0,22
6	20 L	0,09	0,20	-0,31	0,34	0,01	0,12	-0,19	0,19	-0,23	-0,36	-0,06	0,36	0,42	0,12	0,22
7	20 L	0,10	0,26	-0,26	0,40	0,00	0,03	-0,20	0,09	-0,15	-0,16	0,02	0,28	0,34	0,05	0,20
8	20 L	0,11	0,24	-0,30	0,35	-0,02	0,05	-0,21	0,16	-0,15	-0,17	-0,05	0,19	0,30	-0,01	0,19
9	20 L	0,10	0,23	-0,26	0,33	-0,04	0,19	-0,10	0,46	-0,03	-0,15	-0,15	0,11	0,18	-0,07	0,12
10	20 L	0,10	0,25	-0,37	0,30	0,01	0,16	-0,07	0,31	0,01	-0,18	-0,16	0,12	0,20	-0,04	0,14
11	20 L	-0,08	0,24	-0,25	0,36	-0,01	0,21	-0,06	0,37	-0,01	-0,23	-0,27	0,04	0,15	-0,10	0,10
12	20 L	0,09	0,24	-0,29	0,33	-0,03	0,11	-0,10	0,32	-0,01	-0,19	-0,21	0,06	0,17	-0,07	0,12
13	20 L	0,01	0,26	-0,31	0,35	0,01	0,25	0,00	0,38	0,04	-0,19	-0,21	0,10	0,20	-0,01	0,12
14	20 L	0,08	0,24	-0,29	0,38	-0,05	0,13	-0,03	0,38	0,01	-0,15	-0,17	0,12	0,19	-0,01	0,12
15	18 L	0,13	0,30	-0,31	0,44	0,00	0,05	-0,18	0,12	-0,01	-0,10	-0,11	0,18	0,27	0,16	0,19
16	18 L	0,14	0,27	-0,29	0,44	-0,01	0,05	-0,18	-0,02	-0,25	-0,28	0,00	0,45	0,50	0,20	0,32
17	18 L	0,05	0,21	-0,29	0,36	-0,01	0,17	-0,05	0,24	0,15	-0,01	-0,16	-0,02	-0,02	0,01	-0,03
18	18 L	0,14	0,34	-0,32	0,47	-0,02	0,10	-0,05	0,25	-0,13	-0,32	-0,33	0,12	0,26	0,05	0,25
19	18 L	0,12	0,31	-0,36	0,46	-0,02	-0,04	-0,05	0,14	-0,07	-0,24	-0,01	0,24	0,28	0,05	0,24
20	18 L	0,15	0,31	-0,31	0,50	-0,01	0,05	-0,17	0,02	-0,24	-0,27	0,02	0,42	0,46	0,19	0,34
21	18 L	0,12	0,28	-0,32	0,41	-0,03	0,10	-0,34	0,13	-0,15	-0,22	-0,24	0,12	0,22	0,07	0,22
22	18 L	0,13	0,27	-0,34	0,43	-0,05	-0,01	0,00	-0,02	-0,45	-0,43	-0,17	0,36	0,45	0,20	0,27
23	18 L	0,12	0,30	-0,35	0,39	-0,09	0,05	-0,33	0,16	-0,15	-0,31	-0,36	0,06	0,18	0,07	0,18
24	18 L	0,14	0,29	-0,33	0,40	0,05	0,01	-0,43	0,04	-0,30	-0,40	-0,21	0,32	0,32	0,14	0,25
25	18 L	0,10	0,30	-0,37	0,37	-0,05	0,15	-0,27	0,26	-0,04	-0,35	-0,43	-0,04	0,04	-0,05	0,10
27	18 L	0,12	0,25	-0,33	0,34	0,02	0,22	-0,24	0,14	-0,01	-0,23	-0,38	-0,09	0,04	-0,04	0,11
28	18 L	0,10	0,34	-0,36	0,36	-0,06	0,32	-0,31	0,31	-0,16	-0,39	-0,28	0,11	0,11	0,02	0,04
29	18 L	0,13	0,26	-0,35	0,46	-0,02	0,07	-0,35	0,01	-0,15	-0,15	-0,16	0,13	0,25	0,08	0,20
30	18 L	0,06	0,26	-0,30	0,42	-0,02	0,11	-0,02	0,11	0,12	-0,02	-0,34	-0,20	-0,11	-0,17	-0,01
31	18 L	0,18	0,30	-0,36	0,47	-0,02	0,06	-0,42	0,03	-0,30	-0,22	0,02	0,36	0,44	0,23	0,34
33	18 L	0,10	0,25	-0,31	0,41	-0,02	0,08	-0,20	0,10	0,03	-0,14	-0,33	0,01	0,13	0,07	0,10
34	18 L	0,13	0,26	-0,31	0,41	-0,03	0,18	-0,26	0,14	-0,08	-0,18	-0,29	0,08	0,18	0,11	0,15
35	18 L	0,07	0,17	-0,28	0,24	0,00	0,02	0,01	0,20	0,05	-0,22	-0,40	-0,11	-0,07	0,10	-0,05
36	18 L	0,10	0,11	-0,26	0,25	0,02	0,08	-0,15	0,18	-0,12	-0,31	-0,11	0,20	0,18	0,23	0,04
37	18 L	0,10	0,13	-0,28	0,24	0,02	0,26	0,02	0,38	0,14	-0,20	-0,32	0,00	-0,02	0,14	-0,07
38	18 L	0,10	0,12	-0,29	0,23	-0,01	0,05	-0,14	0,09	-0,09	-0,31	-0,21	0,26	0,26	0,20	0,11
39	18 L	0,08	0,11	-0,28	0,25	0,04	0,08	-0,10	0,14	-0,05	-0,32	-0,28	0,18	0,14	0,20	0,01
40	18 L	0,07	0,14	-0,27	0,30	0,01	-0,05	-0,20	0,01	-0,18	-0,32	-0,10	0,32	0,29	0,28	0,08
41	18 L	0,06	0,06	-0,22	0,19	0,01	0,21	-0,05	0,21	0,01	-0,32	-0,37	0,07	0,06	0,11	-0,07
42	18 L	0,03	0,18	-0,28	0,24	0,02	0,25	-0,10	0,24	0,08	-0,26	0,43	-0,17	-0,03	-0,15	-0,04
43	18 L	0,12	0,37	-0,33	0,55	-0,02	0,18	-0,23	0,24	0,05	-0,12	-0,35	-0,11	-0,04	-0,10	0,17
44	18 L	0,09	0,22	-0,29	0,38	0,00	0,12	-0,27	0,07	-0,05	0,10	-0,25	-0,03	0,01	-0,08	0,11
45	18 L	0,14	0,28	-0,28	0,42	-0,01	0,24	-0,32	0,09	-0,15	-0,27	-0,18	0,08	0,09	-0,05	0,18
46	18 L	0,12	0,22	-0,28	0,40	0,00	0,16	-0,11	-0,28	0,11	0,03	-0,30	-0,15	-0,04	-0,04	0,20
48	18 L	0,12	0,22	-0,29	0,38	-0,01	0,25	-0,11	0,38	0,10	0,08	-0,30	-0,14	-0,03	-0,11	0,23
49	18 L	0,10	0,22	-0,30	0,39	0,02	0,21	-0,14	0,24	0,11	-0,02	-0,39	-0,23	-0,17	-0,14	0,07

Métodos estatísticos para melhoria da qualidade:
Caso de estudo

Forno	Capacidade	Frente - Depois do posto A													
1	20 L	0,17	0,27	-0,28	0,36	0,06	0,24	-0,15	0,15	-0,12	-0,12	0,02	0,13	-0,08	0,17
2	20 L	0,12	0,13	-0,22	0,30	0,08	0,32	-0,08	0,31	-0,12	-0,15	-0,03	0,08	0,15	0,00
3	20 L	0,16	0,15	-0,22	0,31	0,09	0,21	-0,17	0,09	-0,16	-0,11	-0,11	0,06	0,19	-0,01
4	20 L	0,12	0,22	-0,23	0,34	0,06	0,31	-0,03	0,40	-0,02	-0,20	-0,23	0,02	0,14	-0,06
5	20 L	0,15	0,23	-0,20	0,37	0,11	0,31	-0,08	0,21	-0,15	-0,20	0,01	0,12	0,24	0,04
6	20 L	0,13	0,25	-0,24	0,39	0,10	0,32	-0,07	0,30	-0,16	-0,24	-0,12	0,26	0,32	0,07
7	20 L	0,13	0,24	-0,19	0,37	0,10	0,25	-0,10	0,14	-0,09	0,10	0,15	0,14	0,21	-0,02
8	20 L	0,12	0,27	-0,23	0,40	0,08	0,21	-0,15	0,19	-0,11	-0,05	-0,02	0,06	0,14	-0,11
9	20 L	0,11	0,18	-0,18	0,31	0,06	0,35	-0,08	0,42	-0,05	0,05	-0,03	0,04	0,05	-0,13
10	20 L	0,13	0,24	-0,21	0,36	0,07	0,32	-0,02	0,33	0,02	-0,12	-0,18	0,00	0,07	-0,10
11	20 L	0,15	0,15	-0,33	0,18	-0,22	0,04	-0,22	0,19	-0,11	-0,27	-0,18	0,18	0,28	0,02
12	20 L	0,12	0,27	-0,23	0,41	0,05	0,28	-0,01	0,37	0,04	-0,05	-0,20	0,00	0,07	-0,12
13	20 L	0,13	0,19	-0,25	0,35	0,09	0,35	0,01	0,34	0,02	-0,10	-0,15	0,02	0,12	-0,02
14	20 L	0,10	0,24	-0,22	0,38	0,10	0,41	0,13	0,51	0,10	-0,01	-0,25	-0,03	-0,01	-0,13
15	18 L	0,15	0,24	-0,20	0,38	0,05	0,33	0,00	0,15	-0,16	-0,23	-0,06	0,26	0,35	0,13
16	18 L	0,13	0,24	-0,22	0,37	0,08	0,37	0,05	0,32	0,19	0,13	-0,15	-0,09	-0,10	-0,04
17	18 L	0,17	0,38	-0,23	0,38	0,13	0,52	0,20	0,50	0,04	-0,13	-0,39	-0,10	0,03	-0,14
18	18 L	0,15	0,26	-0,27	0,41	0,09	0,29	0,07	0,28	-0,05	-0,20	-0,16	0,05	0,13	-0,02
19	18 L	0,17	0,29	-0,21	0,47	0,10	0,37	0,00	0,13	-0,18	-0,18	-0,05	0,22	0,29	0,10
20	18 L	0,16	0,20	-0,25	0,35	0,10	0,32	-0,29	0,19	-0,15	-0,16	-0,23	0,04	0,15	0,05
21	18 L	-0,10	0,18	-0,32	0,50	0,13	0,30	-0,27	0,11	-0,18	-0,25	-0,24	0,08	0,17	-0,06
22	18 L	0,16	0,23	-0,27	0,30	0,03	0,29	-0,25	0,23	-0,12	-0,19	-0,28	0,04	0,12	0,05
23	18 L	0,11	0,32	-0,22	0,42	0,15	0,42	-0,17	0,30	-0,05	-0,20	-0,26	0,10	0,04	-0,08
24	18 L	0,13	0,29	-0,32	0,38	0,07	0,36	-0,16	0,35	0,03	-0,23	-0,38	-0,13	-0,06	-0,10
25	18 L	0,04	0,30	-0,26	0,50	0,03	0,22	-0,34	0,07	-0,20	-0,28	-0,23	0,04	0,15	0,01
27	18 L	0,10	0,23	-0,26	0,28	0,03	0,52	-0,21	0,38	-0,13	-0,26	-0,22	0,02	0,04	0,02
28	18 L	0,15	0,30	-0,26	0,49	0,10	0,35	-0,19	0,14	-0,06	-0,04	-0,20	-0,06	0,10	-0,02
29	18 L	0,14	0,15	-0,36	0,17	-0,23	0,02	-0,40	-0,09	-0,07	-0,05	-0,24	-0,10	0,01	-0,06
30	18 L	0,16	0,34	-0,25	0,53	0,16	0,37	-0,19	0,19	-0,13	-0,11	-0,09	0,11	0,21	0,07
31	18 L	0,14	0,26	-0,30	0,45	0,04	0,23	-0,27	0,05	-0,11	-0,15	-0,24	0,01	0,16	0,01
33	18 L	0,12	0,21	-0,23	0,35	0,04	0,31	-0,09	0,20	0,08	-0,02	-0,31	-0,08	0,03	0,02
34	18 L	0,12	0,17	-0,24	0,39	0,04	0,33	-0,22	0,14	-0,10	-0,10	-0,23	0,00	0,10	0,09
35	18 L	0,07	0,06	-0,24	0,20	0,06	0,10	-0,01	0,19	0,02	-0,29	-0,22	-0,03	-0,06	0,13
36	18 L	0,14	0,10	-0,22	0,23	0,10	0,22	-0,09	0,23	-0,09	-0,29	-0,14	0,21	0,20	0,26
37	18 L	0,13	0,10	-0,21	0,27	0,10	0,39	0,08	0,45	0,19	-0,16	-0,29	0,03	-0,01	0,16
38	18 L	0,13	0,12	-0,18	0,26	0,10	0,25	-0,03	0,20	-0,02	-0,28	-0,22	0,20	0,21	0,18
39	18 L	0,06	-0,03	-0,22	0,23	0,13	0,20	-0,08	0,16	-0,07	-0,35	-0,24	0,22	0,19	0,27
40	18 L	0,01	0,16	-0,17	0,42	0,11	0,14	-0,03	0,18	-0,03	-0,26	-0,14	0,22	0,19	0,22
41	18 L	0,12	0,03	-0,19	0,19	0,13	0,34	0,00	0,33	0,03	-0,32	-0,36	0,06	0,10	0,20
42	18 L	0,09	0,11	-0,25	0,21	0,08	0,34	-0,08	0,26	0,10	-0,11	-0,44	-0,15	0,04	-0,09
43	18 L	0,15	0,28	-0,23	0,46	0,07	0,41	-0,11	0,34	0,11	0,02	-0,37	-0,15	0,11	-0,10
44	18 L	0,15	0,11	-0,22	0,31	0,09	0,32	-0,22	0,13	-0,03	-0,01	-0,28	-0,06	0,04	-0,03
45	18 L	0,15	0,20	-0,20	0,38	0,08	0,44	-0,21	0,19	-0,09	-0,15	-0,26	0,01	0,04	-0,05
46	18 L	0,15	0,15	-0,19	0,37	0,08	0,35	-0,02	0,36	0,15	0,12	-0,25	-0,18	0,07	-0,02
48	18 L	0,18	0,18	-0,23	0,37	0,07	0,41	-0,05	0,44	0,13	0,05	-0,34	-0,29	-0,02	-0,09
49	18 L	0,10	0,13	-0,22	0,37	0,11	0,39	-0,04	0,30	0,17	0,03	-0,33	-0,25	-0,22	-0,13

Métodos estatísticos para melhoria da qualidade:
Caso de estudo

Forno	Capacidade	Porta								Base	Q.A.D.	Dobradiça
1	20 L	0,30	0,11	0,29	0,21	0,29	0,09	0,29	0,21	13,64	0,09	10,50
2	20 L	0,27	0,08	0,23	0,16	0,27	0,06	0,29	0,19	13,62	-0,12	10,51
3	20 L	0,30	0,12	0,31	0,26	0,31	0,09	0,30	0,23	13,65	0,19	10,48
4	20 L	0,36	0,13	0,26	0,24	0,34	0,06	0,27	0,21	13,61	-0,10	10,20
5	20 L	0,33	0,09	0,27	0,19	0,30	0,10	0,40	0,26	13,62	0,04	10,27
6	20 L	0,34	0,10	0,24	0,19	0,28	0,25	0,72	0,43	13,65	0,02	10,23
7	20 L	0,29	0,08	0,24	0,25	0,30	0,05	0,28	0,22	13,67	0,08	10,45
8	20 L	0,30	0,11	0,27	0,21	0,30	0,04	0,24	0,19	13,67	0,10	10,42
9	20 L	0,32	0,10	0,25	0,19	0,28	0,05	0,26	0,20	13,64	0,04	10,44
10	20 L	0,28	0,09	0,26	0,25	0,27	0,05	0,25	0,21	13,62	0,29	10,56
11	20 L	0,30	0,07	0,21	0,25	0,30	0,07	0,28	0,23	13,60	0,09	10,33
12	20 L	0,32	0,10	0,27	0,22	0,30	0,08	0,26	0,20	13,62	0,15	10,30
13	20 L	0,28	0,11	0,25	0,26	0,29	0,05	0,29	0,20	13,65	0,21	10,48
14	20 L	0,33	0,09	0,25	0,20	0,28	0,05	0,27	0,20	13,61	0,09	10,40
15	18 L	0,28	0,10	0,27	0,22	0,26	0,06	0,32	0,22	13,71	-0,07	10,40
16	18 L	0,31	0,10	0,22	0,14	0,26	0,08	0,27	0,21	13,83	-0,16	10,41
17	18 L	0,29	0,11	0,25	0,17	0,27	0,08	0,32	0,23	13,69	-0,23	10,30
18	18 L	0,31	0,10	0,22	0,16	0,33	0,10	0,29	0,21	13,71	-0,13	10,39
19	18 L	0,31	0,10	0,25	0,18	0,26	0,06	0,31	0,21	13,70	-0,17	10,42
20	18 L	0,33	0,11	0,29	0,26	0,32	0,09	0,35	0,02	13,70	-0,04	10,29
21	18 L	0,30	0,10	0,24	0,24	0,30	0,06	0,29	0,23	13,70	-0,18	10,29
22	18 L	0,30	0,11	0,25	0,14	0,30	0,09	0,30	0,24	13,70	-0,10	10,35
23	18 L	0,30	0,10	0,28	0,27	0,32	0,06	0,32	0,24	13,75	-0,24	10,32
24	18 L	0,37	0,09	0,28	0,22	0,23	0,12	0,35	0,30	13,75	-0,12	10,38
25	18 L	0,34	0,12	0,26	0,26	0,31	0,08	0,29	0,24	13,76	-0,12	10,58
27	18 L	0,33	0,12	0,28	0,25	0,29	0,05	0,28	0,22	13,76	-0,13	10,36
28	18 L	0,31	0,08	0,25	0,23	0,25	0,06	0,35	0,27	13,83	-0,08	10,30
29	18 L	0,30	0,10	0,28	0,25	0,30	0,08	0,35	0,25	13,76	-0,12	10,41
30	18 L	0,32	0,10	0,27	0,27	0,33	0,08	0,30	0,25	13,78	-0,30	10,59
31	18 L	0,29	0,10	0,25	0,24	0,28	0,05	0,30	0,24	13,76	-0,02	10,36
33	18 L	0,30	0,10	0,29	0,27	0,30	0,10	0,35	0,28	13,76	-0,09	10,46
34	18 L	0,28	0,09	0,29	0,28	0,33	0,09	0,32	0,24	13,74	-0,11	10,29
35	18 L	0,31	0,10	0,31	0,25	0,30	0,06	0,34	0,25	13,73	-0,14	10,47
36	18 L	0,31	0,10	0,21	0,15	0,26	0,04	0,26	0,21	13,79	-0,16	10,31
37	18 L	0,28	0,08	0,24	0,18	0,26	0,05	0,29	0,21	13,82	0,05	10,38
38	18 L	0,30	0,10	0,25	0,17	0,30	0,06	0,29	0,19	13,76	-0,15	10,38
39	18 L	0,33	0,08	0,24	0,18	0,29	0,06	0,27	0,20	13,81	-0,24	10,22
40	18 L	0,30	0,08	0,24	0,16	0,29	0,06	0,29	0,22	13,77	-0,23	10,33
41	18 L	0,29	0,10	0,30	0,25	0,27	0,07	0,30	0,21	13,80	-0,05	10,14
42	18 L	0,32	0,10	0,28	0,27	0,30	0,03	0,27	0,23	13,74	-0,10	10,29
43	18 L	0,31	0,09	0,26	0,25	0,29	0,04	0,30	0,25	13,59	-0,12	10,3
44	18 L	0,27	0,10	0,32	0,34	0,32	0,04	0,27	0,23	13,78	-0,09	10,52
45	18 L	0,29	0,18	0,43	0,32	0,28	0,06	0,27	0,24	13,77	-0,19	10,22
46	18 L	0,28	0,10	0,25	0,25	0,25	0,04	0,29	0,22	13,79	-0,10	10,37
48	18 L	0,34	0,12	0,29	0,32	0,33	0,07	0,28	0,25	13,81	-0,14	10,54
49	18 L	0,29	0,09	0,25	0,25	0,28	0,04	0,26	0,22	13,81	-0,11	10,34

Métodos estatísticos para melhoria da qualidade:
Caso de estudo

	Fuga									Plástico				Forra			Alinhamento		
Forno	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	Fuga máx.	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	4_6	3_5	
1	-									-1,18	-0,49	-0,77	2,90	1,06	0,84	1,25	-1,83	-3,39	
2	-									0,33	-0,58	-0,86	2,72	1,80	0,79	1,04	-2,66	-3,30	
3	X									-0,01	-0,55	-0,74	2,62	1,94	0,68	1,15	-2,68	-3,17	
4	-									0,01	-0,09	-0,29	2,78	2,06	1,23	1,69	-2,35	-2,87	
5	X									-0,20	-0,24	-0,51	2,55	1,62	1,15	1,41	-2,13	-2,79	
6	-									0,14	-0,21	-0,45	2,42	2,06	1,16	1,16	-2,51	-2,63	
7	-	Não foram recolhidos dados de fugas quantitativos para estes fornos									-0,07	-0,32	-0,52	2,57	2,03	1,47	1,35	-2,55	-2,89
8	-									-0,34	-0,28	-0,39	2,25	2,49	1,51	1,52	-2,88	-2,53	
9	-									-0,54	-0,58	-0,79	2,33	2,31	1,30	1,11	-3,10	-2,91	
10	-									-0,35	-0,27	-0,47	2,78	2,11	1,64	1,44	-2,58	-3,05	
11	-									0,52	-0,12	-0,33	2,72	3,01	1,72	1,54	-3,34	-2,84	
12	X									0,51	0,01	-0,09	2,39	2,92	1,89	1,86	-3,01	-2,38	
13	X									0,78	0,12	-0,03	2,39	3,05	2,02	1,93	-3,08	-2,27	
14	-									-0,61	-0,66	-0,93	2,74	1,90	1,20	0,91	-2,83	-3,40	
15	0,01	0,00	0,30	0,04	0,12	0,03	0,04	0,02	0,30	-0,13	-0,17	-0,27	2,01	1,98	1,18	1,17	-2,25	-2,18	
16	0,04	0,01	0,03	0,14	0,08	0,01	0,01	0,05	0,14	-0,98	-0,69	-0,86	2,21	1,16	0,64	0,52	-2,02	-2,90	
17	0,04	0,00	0,40	0,03	0,10	0,04	0,05	0,05	0,40	-1,00	-0,76	-0,89	2,17	1,33	0,54	0,51	-2,22	-2,93	
18	0,10	0,03	0,40	0,13	0,15	0,07	0,11	0,03	0,40	-0,72	-0,34	-0,37	2,38	1,57	1,00	1,02	-1,94	-2,72	
19	0,01	0,01	0,10	0,02	0,03	0,04	0,04	0,02	0,10	-0,07	0,11	-0,07	1,93	2,06	1,50	1,45	-2,13	-1,82	
20	0,01	0,02	0,30	0,12	0,12	0,06	0,05	0,08	0,30	0,35	-0,07	-0,42	1,76	2,59	1,81	1,82	-3,01	-1,83	
21	0,01	0,00	0,40	0,15	0,30	0,07	0,05	0,07	0,40	0,76	0,26	0,28	2,10	2,67	2,18	2,40	-2,39	-1,84	
22	0,01	0,01	0,02	0,02	0,30	0,06	0,04	0,03	0,30	0,01	-0,60	-0,87	2,95	1,74	1,29	1,29	-2,61	-3,55	
23	0,02	0,00	0,12	0,05	0,07	0,07	0,02	0,03	0,12	1,01	-0,13	-0,24	2,33	2,44	1,71	1,93	-2,68	-2,46	
24	0,01	0,00	0,06	0,07	0,04	0,05	0,01	0,03	0,07	0,26	-0,25	-0,32	1,81	2,35	1,52	1,80	-2,67	-2,06	
25	0,03	0,00	0,08	0,05	0,10	0,08	0,06	0,04	0,10	0,74	0,03	-0,14	2,34	2,37	1,80	1,92	-2,51	-2,31	
27	0,02	0,01	0,20	0,05	0,09	0,07	0,02	0,04	0,20	0,73	0,22	-0,04	2,22	2,57	2,17	2,25	-2,61	-2,00	
28	0,02	0,00	0,50	0,15	0,18	0,05	0,05	0,07	0,50	1,10	0,68	0,65	2,21	3,29	2,69	2,83	-2,64	-1,53	
29	0,01	0,00	0,02	0,01	0,03	0,01	0,00	0,01	0,03	0,12	-0,53	-0,62	1,98	2,09	1,86	1,82	-2,71	-2,51	
30	0,05	0,00	0,50	0,09	0,32	0,02	0,02	0,05	0,50	1,11	0,58	0,49	1,81	3,15	2,52	2,62	-2,66	-1,23	
31	0,01	0,00	0,05	0,05	0,02	0,01	0,03	0,01	0,05	0,69	0,32	0,20	2,26	2,58	2,29	2,35	-2,38	-1,94	
33	0,01	0,00	0,30	0,30	0,60	0,06	0,11	0,10	0,60	0,04	-0,84	-1,05	1,99	2,03	1,43	1,44	-3,08	-2,83	
34	0,01	0,00	0,05	0,20	0,28	0,06	0,04	0,06	0,28	0,95	0,12	0,01	2,04	2,64	2,17	2,21	-2,63	-1,92	
35	0,05	0,02	0,08	0,20	0,70	0,20	0,30	0,03	0,70	-1,08	0,15	0,01	2,42	0,94	1,50	1,46	-0,93	-2,27	
36	0,02	0,25	0,07	0,06	0,50	1,70	2,00	0,03	2,00	-1,12	-0,09	-0,26	2,44	1,04	1,25	1,20	-1,30	-2,53	
37	0,03	0,07	0,30	0,50	0,60	0,05	0,05	0,00	0,60	-0,81	-0,81	-0,96	2,23	1,40	0,60	1,13	-2,36	-3,04	
38	0,01	0,03	0,12	0,26	0,30	0,02	0,08	0,00	0,30	-0,36	-0,32	-0,48	2,03	1,93	1,10	0,91	-2,41	-2,35	
39	0,04	0,06	0,11	0,30	0,30	0,30	0,40	0,01	0,40	-0,58	0,13	0,13	1,79	2,46	1,54	1,62	-2,33	-1,66	
40	0,08	0,07	0,40	0,60	1,50	0,30	1,20	0,01	1,50	-0,23	0,05	0,05	2,16	2,01	1,32	1,42	-1,96	-2,11	
41	0,04	0,02	0,20	0,23	0,40	0,30	0,17	0,02	0,40	0,08	-0,14	-0,20	2,15	1,92	1,14	1,27	-2,12	-2,29	
42	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03	0,30	0,03	0,02	0,30	0,82	0,07	-0,08	2,49	2,66	1,85	1,94	-2,74	-2,42	
43	0,01	0,02	0,04	0,02	0,03	0,04	0,01	0,01	0,04	-0,01	-0,18	-0,15	1,79	1,93	1,74	2,09	-2,08	-1,97	
44	0,01	0,03	0,02	0,05	0,03	0,06	0,06	0,01	0,06	0,55	0,57	-0,74	2,38	2,67	1,32	1,34	-3,41	-1,81	
45	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,02	0,73	0,08	-0,11	2,12	2,49	1,98	2,00	-2,60	-2,04	
46	0,00	0,02	0,03	0,07	0,02	0,00	0,08	0,00	0,08	-0,25	-0,37	-0,37	2,32	2,00	1,50	1,61	-2,37	-2,69	
48	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,04	0,15	0,00	0,15	0,38	-0,18	-0,30	2,32	2,36	1,56	1,72	-2,66	-2,50	
49	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,05	0,01	0,00	0,05	0,09	0,01	-0,08	1,97	1,93	1,73	1,85	-2,01	-1,96	